



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Rapport om: Modelforsøg med bølgeopskyl på Thorsminde-Digerne

juli 1977

Brorsen, Michael

*Publication date:*  
1977

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Brorsen, M. (1977). *Rapport om: Modelforsøg med bølgeopskyl på Thorsminde-Digerne: juli 1977*. Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



*Michael Brønsen*

RAPPORT OM  
MODELFORSØG MED BØLGEOPSKYL  
PÅ THORSMINDE-DIGERNE  
JULI 1977

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING  
AALBORG UNIVERSITETSCENTER DANMARKSGADE 19 AALBORG DANMARK

AALBORG UNIVERSITETSCENTER

Danmarksgade 19

9000 Aalborg

Danmark

telefon (08) 160533

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING

Ingeniørdocent H. F. Burcharth

RAPPORT OM

MODELFORSØG MED BØLGEOPSKYL

PÅ THORSMINDE-DIGERNE

JULI 1977

INDHOLDSFORTEGNELSE:

Symbolliste	side	1
Bilagsliste	side	2
1. Indledning	side	3
2. Konklusion	side	4
3. Bølger og vandstandsforhold	side	5
4. Strand- og digeprofiler	side	6
5. Modelopbygning og forsøgsprocedure	side	8
6. Måleresultater	side	9
7. Referencer	side	12

Symbolliste

$a_F$	hældning af forstrand
$a_\emptyset$	hældning af øverste del af diget
$a_n$	hældning af nederste del af diget
$\epsilon$	spektralbredde ( $\epsilon^2 = 1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4} \approx 1 - (\frac{T_C}{T_Z})^2$ )
$H$	top-dal bølgehøjde (mellem nul-opkrydsninger)
$H_S$	signifikant bølgehøjde
$h_k$	koten til knæk i konkavt digeprofil
$L_d$	digefodens vandrette afstand fra kote 0,0 i strandprofil
$L_f$	længde af vandret forstrand
$L_{f1}$	længde af vandret forstrand ved konkavt digeprofil
$L_{f2}$	vandret længde af nederste del af konkavt digeprofil
$m_n$	n'te ordens moment af energispektret ( $m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega$ )
$n_i$	antal observerede bølger i bølgehøjdeinterval
$N$	totalt antal bølger ved bølgeregistrering
$\omega = \frac{2\pi}{T}$	cirkelfrekvens
$\omega_m$	den cirkelfrekvens, hvor energispektret har maksimum
RVS	roligt vandspejl
$T$	bølgeperiode
$T_C$	top-top bølgeperiode (middelværdi)
$T_Z$	nul-opkrydsnings bølgeperiode (middelværdi)
$S(\omega)$	energispektrumsfunktion
$Z_{(n)}$	opskylskoten som overskrides af n% af de indkommende bølger



Bilagsliste

- Bilag 1 Strandprofil, Nordre og Søndre tange.
- 2 Jonswap-energiskeptre benyttet ved forsøgene.
- 3 Bølgehøjdefordeling,  $H_S = 4 \text{ m}$ ,  $T_Z = 10 \text{ s}$ .
- 4 Bølgehøjdefordeling,  $H_S = 6 \text{ m}$ ,  $T_Z = 13 \text{ s}$ .
- 5 Bølgehøjdefordeling,  $H_S = 7 \text{ m}$ ,  $T_Z = 15 \text{ s}$ .
- 6 Eksempel på bølgeopskylsfordeling, Nordre tange.
- 7 Eksempel på bølgeopskylsfordeling, Nordre tange.

Bilagene 8-13 angår alene Nordre tange.

- Bilag 8  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$  og  $(H_S, T_Z)$ .
- 9  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$  og digehældning.
- 10-11  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$ , vandstand og digehældning.
- 12  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$  som funktion af  $L_f$ .
- 13  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_d$  og digeudformning (ret og konkavt digeprofil).

Bilagene 14-20 angår alene Søndre tange.

- Bilag 14  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$  og  $(H_S, T_Z)$ .
- 15  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$  og digehældning.
- 16-17  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$ , vandstand og digehældning.
- 18  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$  som funktion af  $L_f$ .
- 19  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_d$  og digeudformning (ret og konkavt digeprofil).
- 20  $Z_{(2)}$  som funktion af digeudformning (hældning af nederste del af diget).
- 21-22  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_d$ , forstrandshældning og digehældning.
- 23  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_d$  og forstrandshældning ved konkavt digeprofil.
- 24-27 Tabeller over  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$  for Nordre tange.
- 28-31 Tabeller over  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$  for Søndre tange.
- 32 Tabel over  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$  ved forsøg med konkavt digeprofil.

## 1. Indledning

Efter anmodning fra Kystinspektoratet(KI) er der ved Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning(LHH) i maj og juni 1977 udført en række modelforsøg med henblik på at bestemme fordelingen af bølgeopskylskoter på Thorsmindedigerne.

Ved planlægningen af forsøgene har medvirket fra KI, direktør H.B. Sørensen, civ.ing. Lastrup og civ.ing. P. Kragegård og fra LHH civ.ing. Torben Larsen og civ.ing. M. Brorsen. Endvidere besøgte civ.ing. P. Kragegård LHH under forsøgenes udførelse og fik forevist model og forsøgsprocedure.

Herværende rapport er udarbejdet af civ.ing. M. Brorsen.

## 2. Konklusion

Resultaterne fra modelforsøgene er delvist angivet på bilagene 6-23 og samtlige resultater er angivet i tabelform på bilagene 24-32. Nedenstående er angivet en kvalitativ opsummering heraf. Hvor intet andet udtrykkeligt er angivet gælder bemærkningerne både Nordre og Søndre tange.

### Vandstandens betydning

Vandstanden er meget afgørende for bølgeopskyllet på digerne.

### Forstrandens betydning

En forøgelse af længden af vandret forstrand reducerer bølgeopskyllet på digerne væsentligt.

En formindskelse af forstrandshældningen fra 1:15 til 1:40 reducerer bølgeopskyllet på diget væsentligt, når digehældningen er 1:7 og den vandrette forstrandslængde er over ca. 25 m. Ved digehældningen 1:9 er reduktionen i bølgeopskyllet uvæsentlig uanset længden af vandret forstrand, når forstrandshældningen formindskes fra 1:15 til 1:40

### Bølgeperiodens betydning

Bølgeopskyllet på digerne forøges væsentligt, når nulopkrydsningsperioden  $T_z$  vokser.

### Bølgehøjdens betydning

Bølgeopskyllet på digerne afhænger kun i ringe grad af den signifikante bølgehøjde  $H_s$  på ca. 10 m's vanddybde.

### Digehældning

2%'s bølgeopskylskoterne reduceres væsentligt på Nordre tange, når digehældningen formindskes fra 1:7 til 1:9, hvorimod effekten heraf på Søndre tange er ret ringe.

### Digeprofil

2%'s bølgeopskylskoterne reduceres kun uvæsentligt, når et konkavt digeprofil (med hældningerne 1:25 og 1:9, hvor knækket ligger i kote +4 m) anvendes i stedet for et retlinet profil med hældningen 1:9.

### 3. Bølger og vandstandsforhold

Da målinger af signifikant bølgehøjde  $H_S$  og nul-opkrydningsperiode  $T_Z$  ikke foreligger for det område som undersøges, har KI, ud fra dybdeforhold på stedet samt fritstrækdiagrammer, skønnet det rimeligt at undersøge bølgeopskylsfordelingerne, når bølgeforholdene på ca 10 m's vanddybde beskrives ved:

- 1)  $H_S = 4 \text{ m} , T_Z = 10 \text{ s}$
- 2)  $H_S = 6 \text{ m} , T_Z = 13 \text{ s}$
- 3)  $H_S = 7 \text{ m} , T_Z = 15 \text{ s}$

Hovedparten af disse bølgetogs bølger vil bryde, inden de når digefoden.

Da målinger af energispektre selvsagt heller ikke foreligger for området der undersøges, måtte man antage, at syntetiske spektre kunne benyttes. Der blev anvendt Jonswap-spektre, se bilag 2, men da "spidshedsparameteren"  $\gamma$  i dette spektrum ifølge [1] er tilnærmet 1 for de ovennævnte kombinationer af  $H_S$  og  $T_Z$ , afviger de på bilag 2 angivne spektre derfor kun uvæsentligt fra Moskowitz-spektre. Endvidere skal bemærkes, at de anvendte spektre svarer til ubrudte bølger, og ovennævnte bølgetog består af brudte bølger, idet  $H_S$  typisk er 12-15 m i Nordsøen under 100-års stormen. Endelig gøres opmærksom på, at spektralbredden  $\epsilon$  i alle tilfælde er ca. 0,60, og at denne parameter ikke er forsøgt varieret.

Vandstanden i forsøgene blev, på grundlag af vandstandsmålinger i Thorsminde havn, af KI fastsat til at variere mellem 2,75 og 3,25 m over D.N.N.

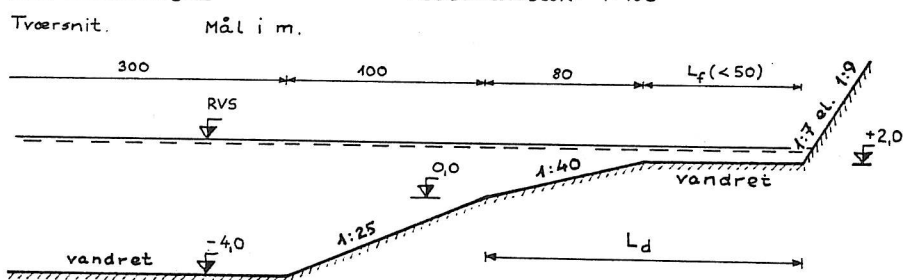


#### 4. Strand- og digeprofil

På fig. 4.1 er vist de undersøgte strandprofiler for henholdsvis Søndre og Nordre tange.

##### Søndre tange:

Modelmålestok 1:150



##### Nordre tange:

Modelmålestok 1:150

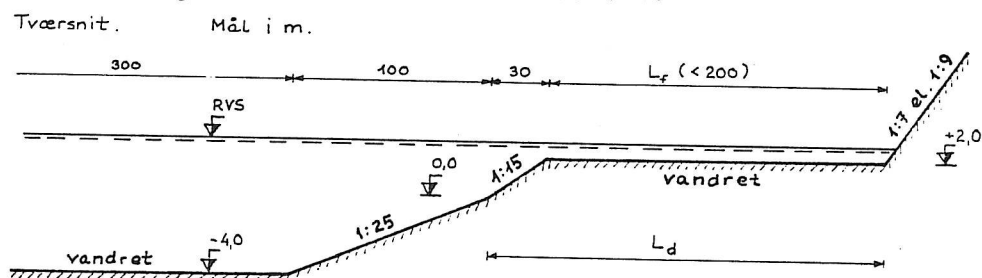


fig. 4.1

Det ses, at profilerne kun afviger fra hinanden over kote 0,0 samt, at længden af den vandrette forstrand ( $L_f$ ) er mindst på Søndre tange. Endvidere skal tilføjes, at ifølge KI falder bunden 1:175 udenfor de 300 m vandret bund i kote -4,0.

Ved forsøgene har  $L_f$  varieret mellem 0 og 50 m ved Søndre tange samt mellem 0 og 200 m ved Nordre tange. I begge strandprofiler har digehældningen først været 1:7, og dernæst er forsøgene gentaget med digehældningen 1:9.

Som antydnet på strandprofilerne er forsøgene udført med meget høje diger for at kunne bestemme opskylsfordelingerne, selv om digekronerne

for øjeblikket i virkeligheden ligger i kote +5 m.

Endelig har forsøgene omfattet en undersøgelse af forskellige konkave digeprofiler, se skitse på bilag 32.

Det skal bemærkes, at ovennævnte profiler blev antaget uforanderlige, og virkningen af eventuel kystnedbrydning, når der kommer bølger på forstranden, er derfor ikke undersøgt.

### 5. Modelopbygning og forsøgsprocedure

Modellen af strandprofilet og diget blev i målestok 1:150 opbygget af aluminium som en 45 cm bred bølgerende, der blev stillet op i laboratoriets bølgebassin. Ændringer i strandprofilet foretoges ved at udskifte en bundsektion i renden, og forstrandens længde blev varieret ved at flytte pladen, som udgjorde selve diget. Pladen var forsynet med en spindel, således at digehældningen let kunne varieres.

Bølgerne til forsøgene blev genereret ved at fordele energien i det benyttede spektrum på 8 enkeltbølger, som derpå superponeredes efter en nedskalering efter Froudes modellov.

Bølgemålingen blev foretaget med laboratoriets elektriske induktive bølgemåler, og resultatet blev løbende registreret på skriver. Bølgemålerens kalibrering blev kontrolleret ved hvert enkelt forsøg.

Bearbejdningen af bølgemålingerne blev foretaget efter de almindelige, anerkendte metoder til behandling af bølgeregistreringer, se f.eks. [2], dvs. størrelserne signifikant bølgehøjde  $H_s$  og nul-opkrydningsperioden  $T_z$  samt spektralbredden  $\epsilon$  blev beregnet. Endvidere blev det stikprøvevis undersøgt om bølgehøjderne med god tilnærmelse var Rayleigh-fordelte.

Forsøgenes varighed var typisk 360 sek, svarende til 1 time og 13 min i prototypetid, i hvilken periode ca. 440 bølger blev genereret.

Bølgeopskylsfordelingen i de enkelte forsøg blev fastlagt ved direkte at observere antallet af opskyl, som overskred givne værdier på en målestok påmalet diget. Som regel observeredes 3-4 niveauer i hvert forsøg, inden opskylsfordelingen kunne optegnes som en tilnærmet ret linie i enkeltlogaritmisk afbildning.

## 6. Måleresultater

På bilagene 3-23 er måleresultaterne afbildet og på bilagene 24-32 er opskylsfordelingerne for de enkelte forsøg angivet i tabelform.

Bilagene 3, 4 og 5 angiver bølgehøjdefordelingerne for de ved forsøgene anvendte uregelmæssige bølger. De viste bølgehøjdefordelinger ses med god tilnærmelse at følge Rayleigh-fordelinger, men det skal bemærkes her, at der på nuværende tidspunkt ikke findes tilgængelige målinger af bølgehøjdefordelinger af brudte bølger i naturen. Det vides derfor ikke, hvor god en tilnærmelse Rayleigh-fordelingen er til den virkeligt forekommende fordeling. Bølgeregistreringerne fra forsøgene er arkiveret på LHH således, at der er mulighed for at sammenholde disse med målinger fra kysten, når disse foreligger.

Bilag 6 er et eksempel på de under forsøgsproceduren omtalte bølgeopskylsfordelinger. Efter den viste optegning aflæstes de opskylskoter, som blev overskredet af henholdsvis 2, 5 og 10% af de indkommende bølger, og resultaterne blev angivet i tabelform, se bilagene 24-32. Denne fremgangsmåde ligger til grund for alle resultaterne i ovennævnte tabeller. Endvidere skal gøres opmærksom på, at antal % af indkommende bølger blev beregnet som antal opskyl (over eller lig den observerede kote) divideret med antallet af indkommende bølger, der beregnedes som måletid divideret med  $T_z$ .

Endelig skal bemærkes, at det ved gentagelse af nogle forsøg i slutningen af forsøgsserien konstateredes, at opskylskoterne kunne bestemmes med en nøjagtighed på ca.  $\pm 10$  cm i prototypen, hvorfor opskylskoterne i bilagene 24-32 kun er angivet med 1 decimal.

Bilag 7 viser indflydelsen af henholdsvis bølgehøjde ( $H_S$ ) og bølgeperiode ( $T_z$ ) på bølgeopskylsfordelingen for en enkelt opstilling. Det ses, at opskylshøjden, defineret som  $Z_{(n)}$  - RVS, varierer ret kraftigt med  $T_z$ , idet 27%'s forøgelse af  $T_z$  forøger opskylshøjden med ca. 12%. Derimod varierer opskylshøjden kun svagt med  $H_S$ , idet 42%'s forøgelse af  $H_S$  kun forøger opskylshøjden med ca. 6%. Disse resultater skønnes at være repræsentative for de øvrige opstillinger med lignende forstrandslængder.



Bilag 8 viser for Nordre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af den vandrette forstrandslængde  $L_f$  og de tre typer uregelmæssige bølger, hvor perioden  $T_z$  jfr. bilag 7 er den vigtigste parameter. Det ses, at  $Z_{(2)}$  reduceres kraftigt, når  $L_f$  vokser, undtagen ved store værdier af  $L_f$ . Endvidere ses  $Z_{(2)}$  at vokse betydeligt, når  $T_z$  (og  $H_S$ ) vokser, undtagen for små værdier af  $L_f$ . På det viste bilag er digehældningen 1:7, men ved digehældningen 1:9 har de tilsvarende grafer af  $Z_{(2)}$  samme udseende blot parallelforskydte nedad. Dette er vist for  $Z_{(2)}$  som funktion af  $L_f$  på bilag 9.

Bilag 9 viser for Nordre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af digehældningen og  $L_f$ . Det ses, at en formindskelse af digehældningen fra 1:7 til 1:9 bevirker en formindskelse i  $Z_{(2)}$  på ca. 0,6 m undtagen ved helt små værdier af  $L_f$ , hvor formindskelsen i  $Z_{(2)}$  er ca 1 m.

Bilag 10 og 11 viser for Nordre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af vandstanden RVS,  $L_f$  og digehældningen. Det ses, at når RVS øges med 0,5 m, øges  $Z_{(2)}$  i alle tilfælde mindst lige så meget og typisk 0,7-0,8 m. Vandstanden er derfor en vigtig parameter.

Bilag 12 viser for Nordre tange  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$ 's afhængighed af  $L_f$ . Det ses, at kurverne forløber parallelt med en typisk afstand på 0,4 m.

Bilag 13 viser for Nordre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af digeprofilets udformning samt af  $L_d$ , den vandrette afstand fra kote 0,0 i stranden. De to anvendte digeprofiler var et ret digeprofil 1:9 samt et konkavt digeprofil 1:25 og 1:9. Det ses, at den 50 m lange skråning foran oprindeligt digeprofil 1:9 kun reducerer  $Z_{(2)}$  med ca. 0,1 m, uanset  $L_d$ 's størrelse.

Bilag 14 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af  $L_f$  og de tre typer uregelmæssige bølger, hvor perioden  $T_z$  jfr. bilag 7 er den vigtigste parameter. Det ses, at  $Z_{(2)}$  reduceres, når  $L_f$  vokser samt, at  $Z_{(2)}$  vokser, når  $T_z$  (og  $H_S$ ) vokser. Digehældningen er 1:7 på det viste bilag. Ved digehældningen 1:9 er  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af  $L_f$  mindre, hvilket f.eks. kan ses på bilag 15.

Bilag 15 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af digehældning og  $L_f$ . Det ses, at en formindskelse af digehældningen fra 1:7 til 1:9 reducerer  $Z_{(2)}$  mest, når  $L_f$  er lille. Endvidere ses at reduktionen af  $Z_{(2)}$  er betydeligt mindre end ved Nordre tange.

Bilag 16 og 17 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af vandstanden RVS,  $L_f$  og digehældningen. Det ses, at når RVS øges med 0,5 m, øges  $Z_{(2)}$  i alle tilfælde mindst lige så meget og typisk 0,7-0,8 m. Vandstanden er derfor en vigtig parameter.

Bilag 18 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ ,  $Z_{(5)}$  og  $Z_{(10)}$ 's afhængighed af  $L_f$ . Det ses, at kurverne forløber stort set parallelt med en typisk afstand på ca. 0,4 m ligesom ved Nordre tange.

Bilag 19 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af digeprofilets udformning samt af  $L_d$ . De to anvendte digeprofiler var et ret digeprofil 1:9 samt et konkavt digeprofil 1:25 og 1:9. Det ses, at den 50 m lange skråning foran oprindeligt digeprofil 1:9 kun må formodes at reducere  $Z_{(2)}$  ubetydeligt (ca. 0,1-0,2 m), uanset  $L_d$ 's størrelse.

Bilag 20 viser for Søndre tange  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af den nederste skråningshældning i konkave digeprofiler. Det ses, at selv meget flade skråninger i konkave digeprofiler kun reducerer  $Z_{(2)}$  ubetydeligt i forhold til de rette digeprofiler.

Bilag 21 viser  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af forstrandshældning samt af  $L_d$ , når digehældningen er 1:7. Det ses, at  $Z_{(2)}$  reduceres, når forstrandshældningen formindskes fra 1:15 til 1:40, men reduktionen er kun betydelig for store værdier af  $L_d$ .

Bilag 22 viser  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af forstrandshældningen samt af  $L_d$ , når digehældningen er 1:9. Det ses, at  $Z_{(2)}$  kun reduceres ubetydeligt, når forstrandshældningen formindskes fra 1:15 til 1:40.

Bilag 23 viser  $Z_{(2)}$ 's afhængighed af forstrandshældningen samt af  $L_d$ , når digeprofilet er konkavt (1:25, 1:9). Det ses, at  $Z_{(2)}$  kun reduceres ubetydeligt, når forstrandshældningen formindskes fra 1:15 til 1:40.

## 7. Referencer

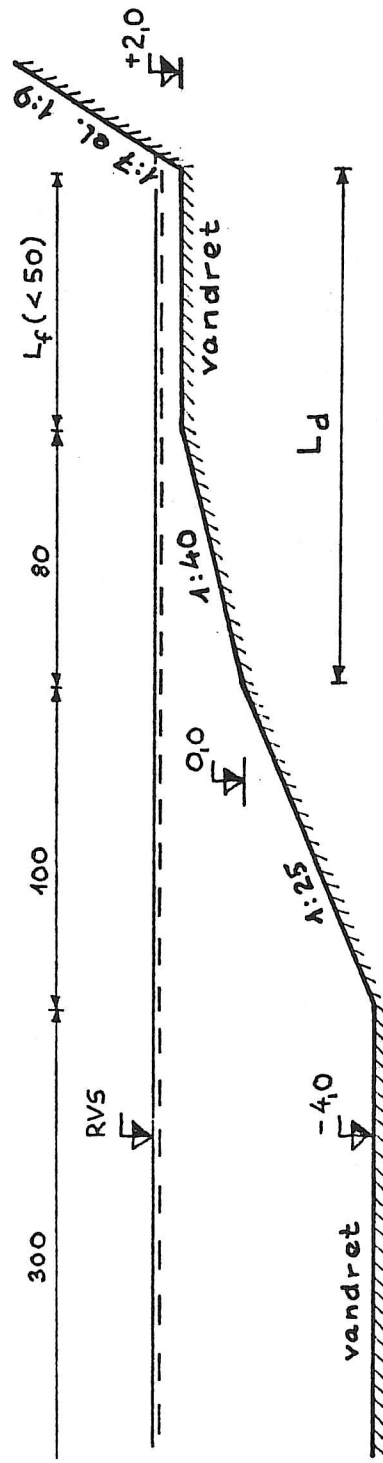
- |1| O.G. Houmb and T. Overvik: "Parameterization of Wave Spectra and Long Term Joint Distribution of Wave Height and Period", BOSS' 76, Trondheim 1976.
- |2| M.J. Tucker: "Analysis of records of sea waves", Proc. Inst. Civ. Eng. 26, 1963.

# Strandprofiler

## Søndre tange:

Tværsnit. Mål i m.

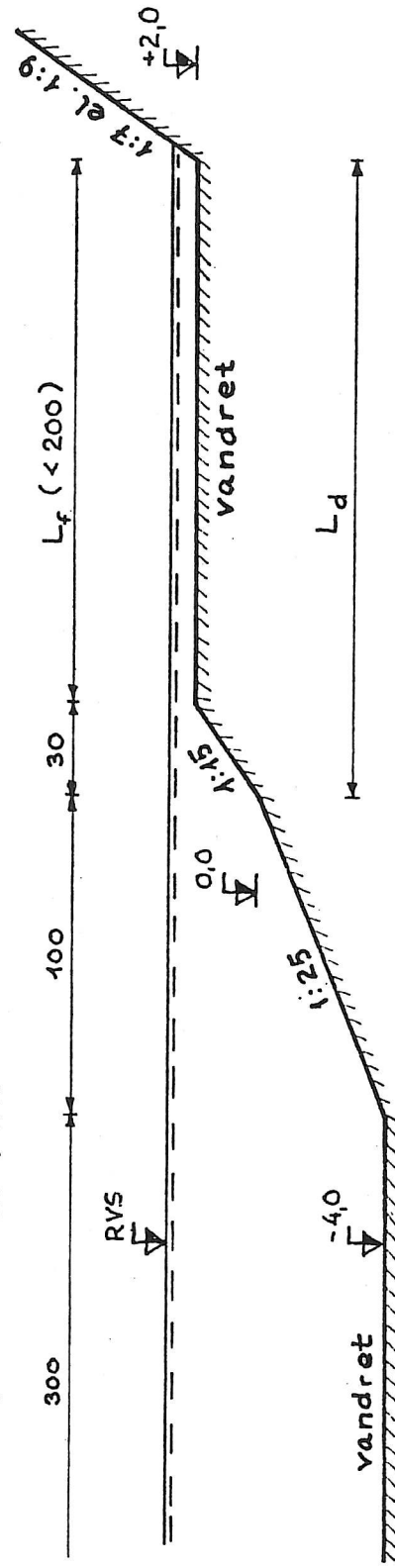
Modelmålestok 1:150



## Nordrere tange:

Tværsnit. Mål i m.

Modelmålestok 1:150





$S \text{ m}^2 \text{ s}$

①

②

③

③

## Jonswap-energispekte

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \left( \frac{\omega}{\omega_m} \right)^{-4} e^{-\frac{(\frac{\omega}{\omega_m} - 1)^2}{2\sigma^2}} \cdot \gamma$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{for } \omega < \omega_m \\ 0,09 & \text{for } \omega > \omega_m \end{cases}$$

①  $m_0 = 3,10 \text{ m}^2, \gamma = 1, \alpha = 0,00130, \omega_m = 0,30 \Leftrightarrow$

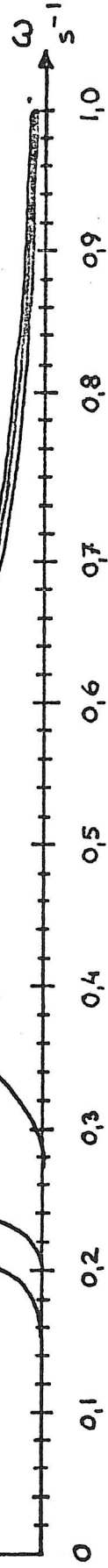
$H_s = 7 \text{ m}, T_z = 15 \text{ s}, \epsilon = 0,61$

②  $m_0 = 2,25 \text{ m}^2, \gamma = 1, \alpha = 0,00159, \omega_m = 0,34 \Leftrightarrow$

$H_s = 6 \text{ m}, T_z = 13 \text{ s}, \epsilon = 0,59$

③  $m_0 = 1,00 \text{ m}^2, \gamma = 1, \alpha = 0,00124, \omega_m = 0,45 \Leftrightarrow$

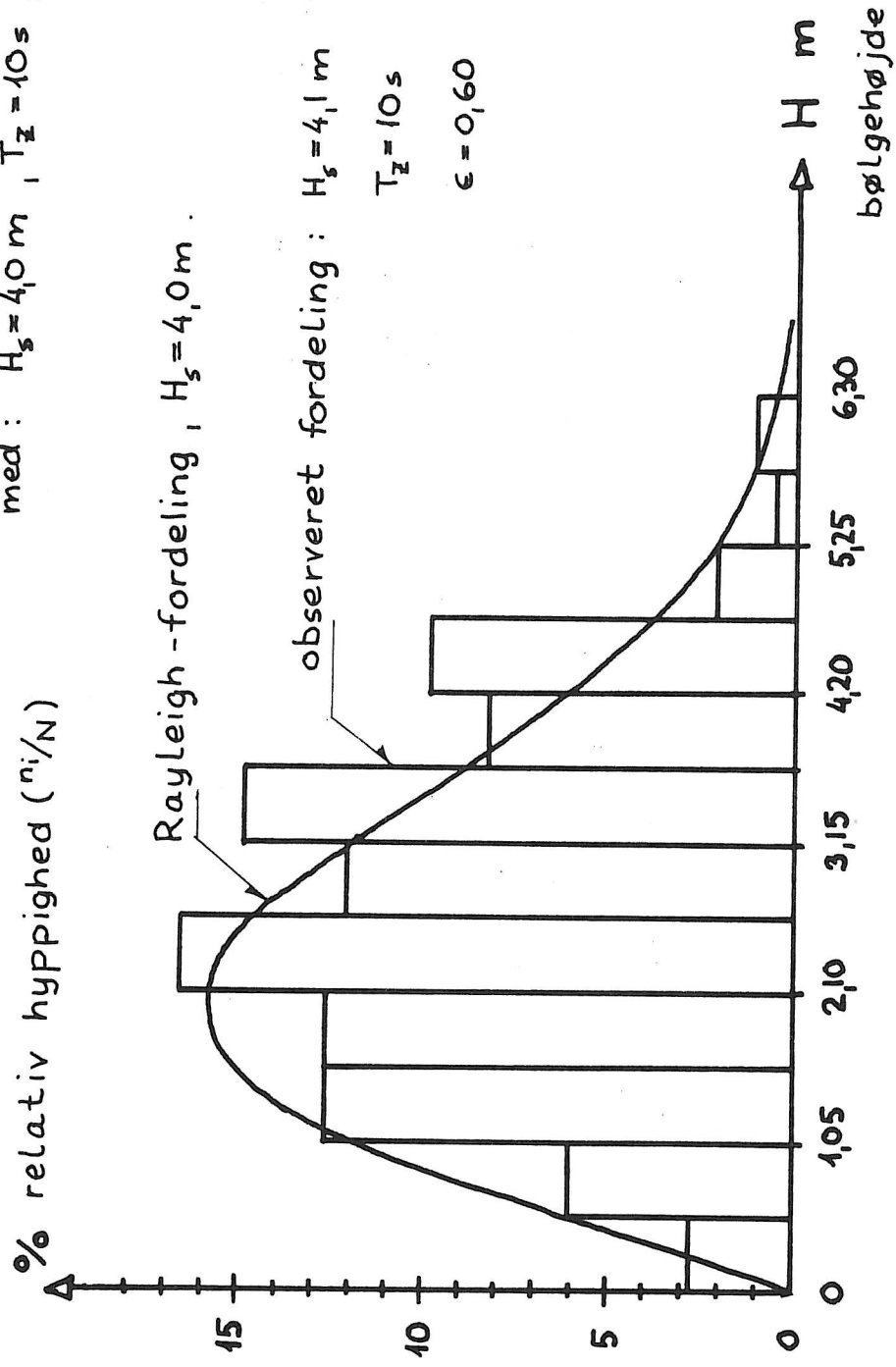
$H_s = 4 \text{ m}, T_z = 10 \text{ s}, \epsilon = 0,58$



## Bølgehøjdefordeling\_

ved anvendelse af Jonswap-spektrum

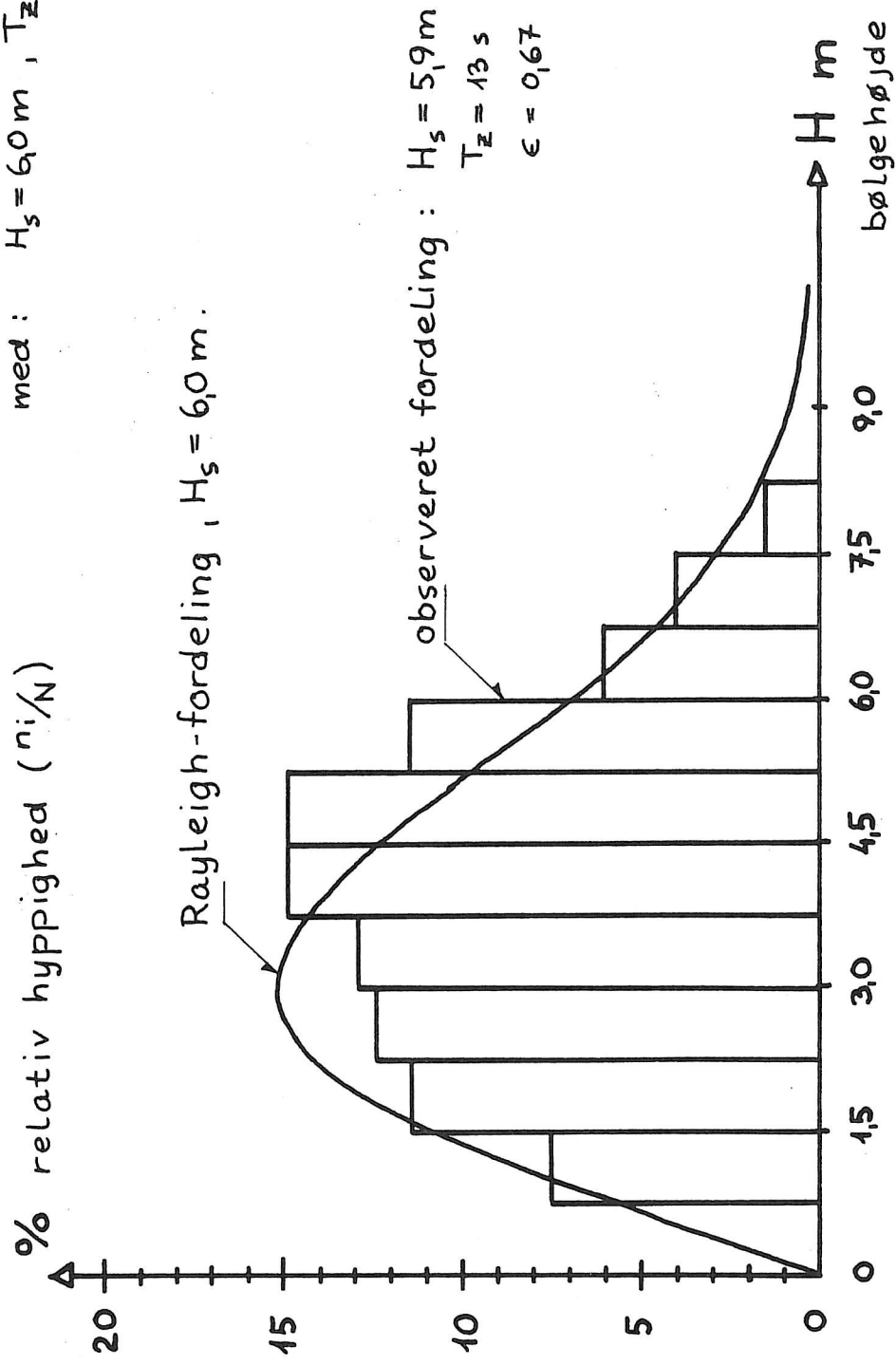
med:  $H_s = 4,0 \text{ m}$ ,  $T_z = 10 \text{ s}$ ,  $\epsilon = 0,58$ .



## Bølgehøjdefordeling

ved anvendelse af Jonswap-spektrum

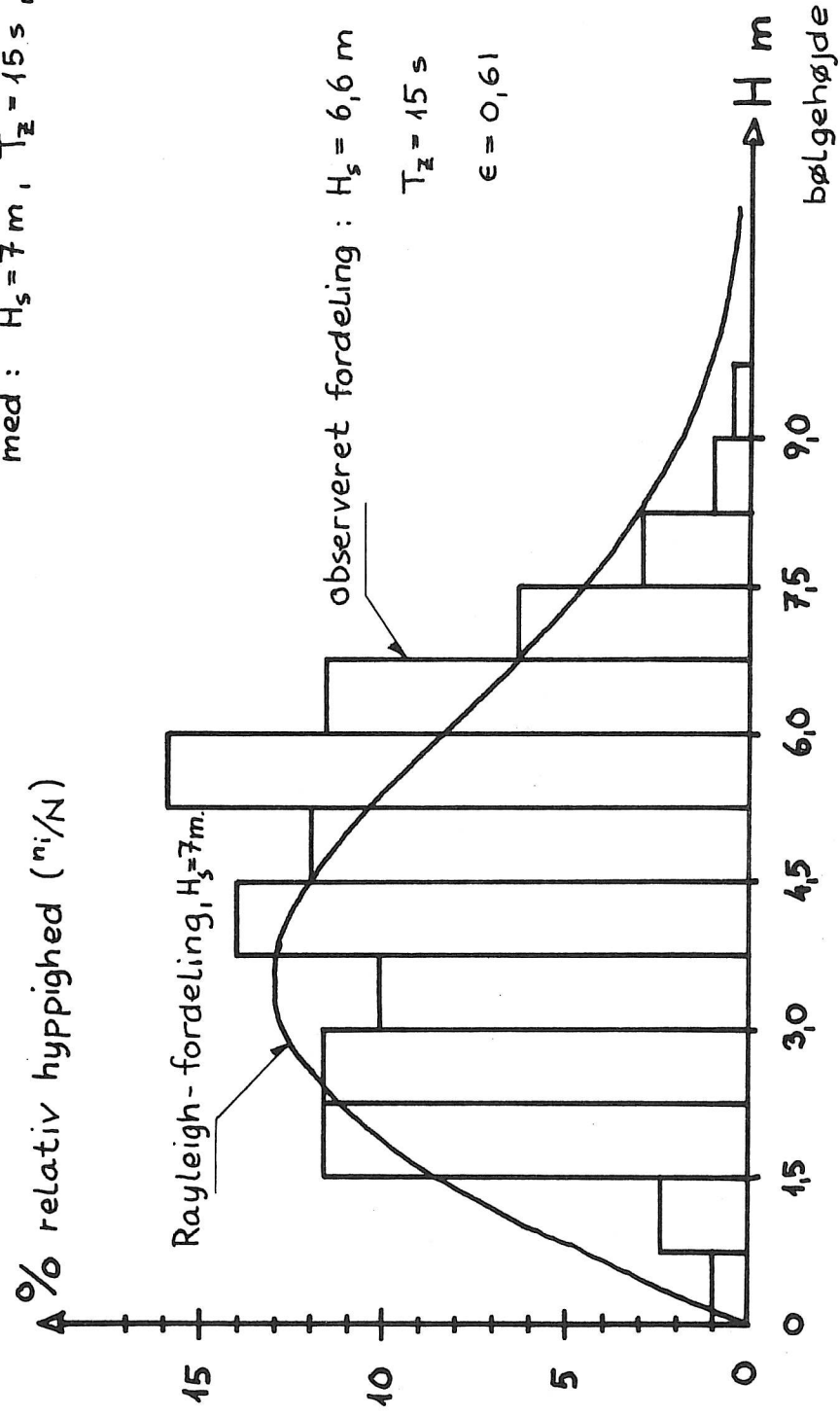
med:  $H_s = 6,0 \text{ m}$ ,  $T_z = 13 \text{ s}$ ,  $\epsilon = 0,59$ .



## Bølgehøjdefordeling

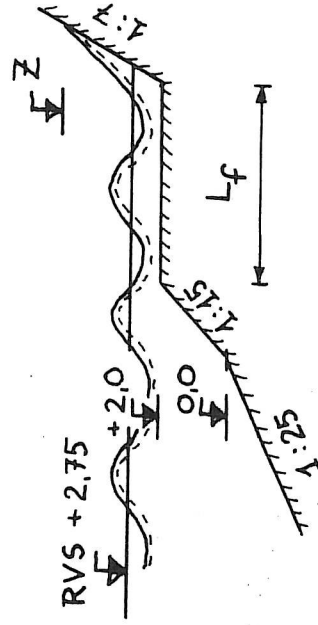
ved anvendelse af Jonswap-spektrum

med:  $H_s = 7\text{ m}$ ,  $T_Z = 15\text{ s}$ ,  $\epsilon = 0,61$ .





% af indkommende bølger



## Bølgeopskylsfordeling

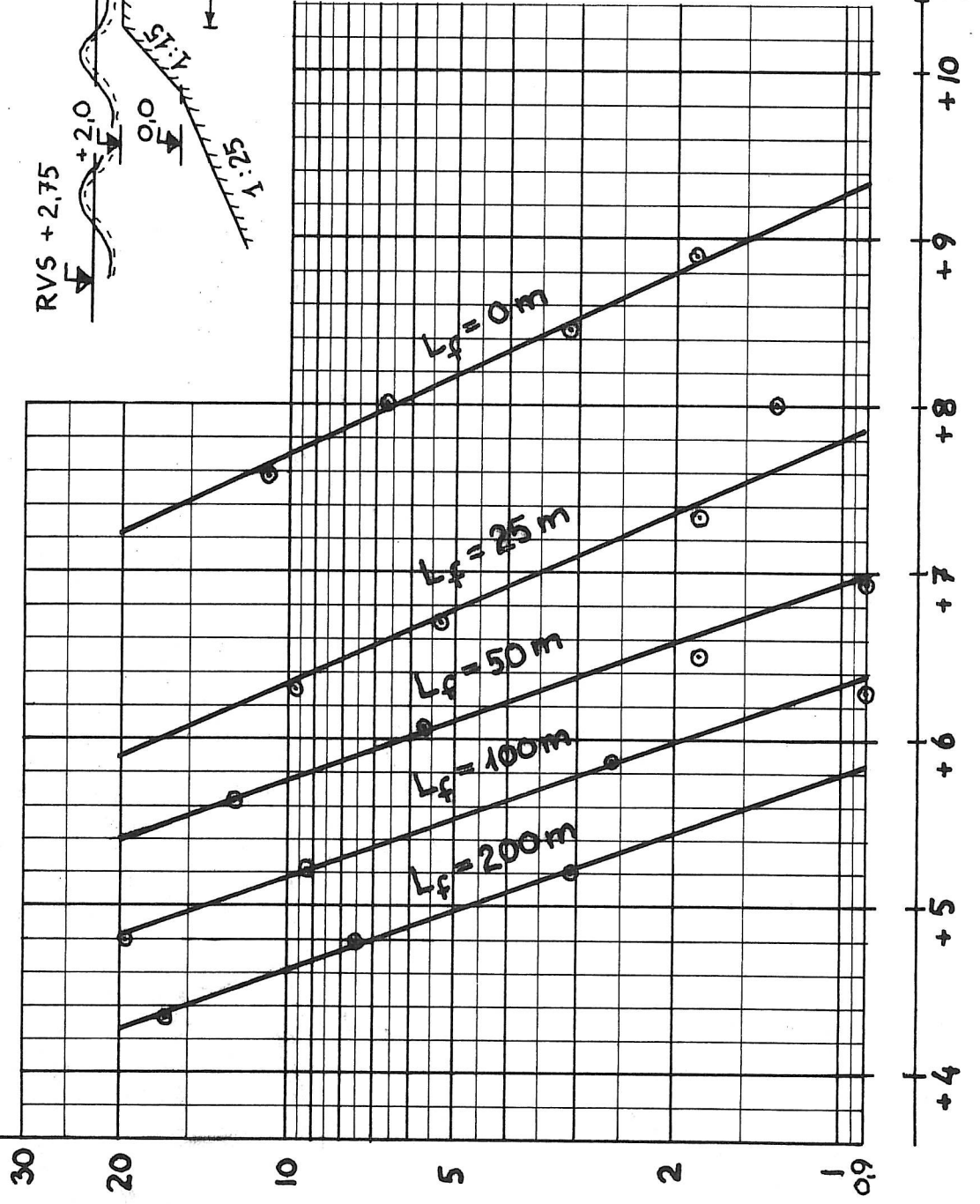
Nordre tange

$RVS + 2,75 \text{ m}$

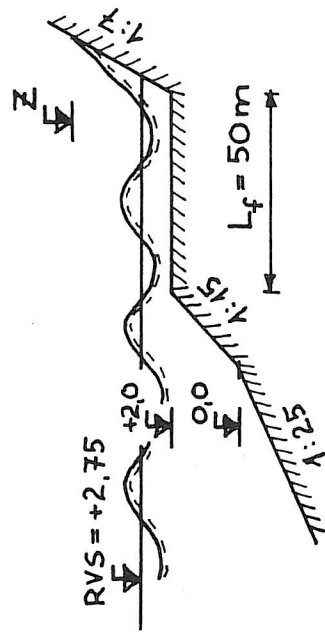
$H_s = 6 \text{ m}$

$T_z = 13 \text{ s}$

$\epsilon = 0,67$



% af indkommende bølger



## Bølgeopskylsfordeling

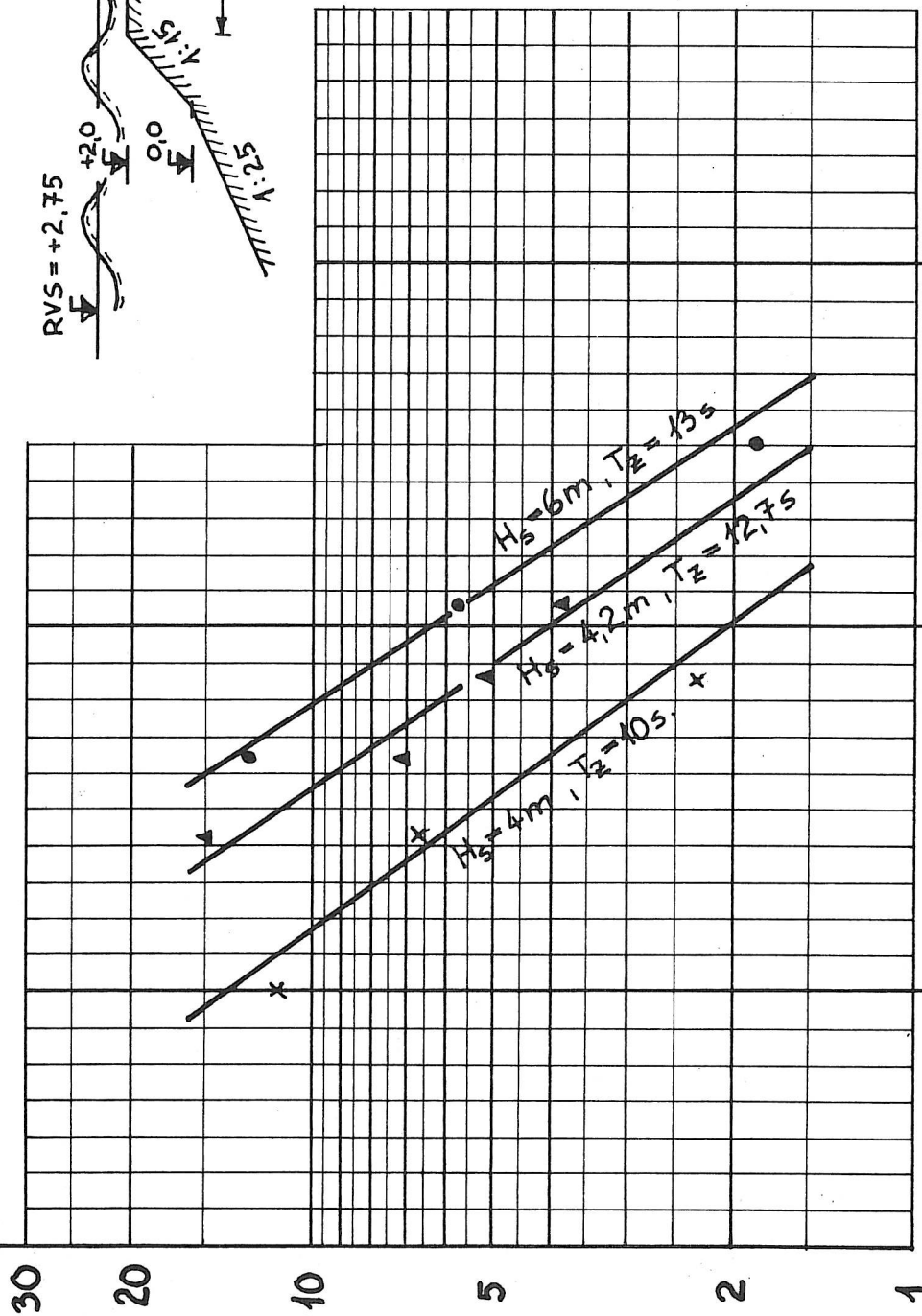
Nordre tange

RVS + 2,75 m

$H_s = 6$  m

$T_z = 13$  s

$\epsilon = 0,67$

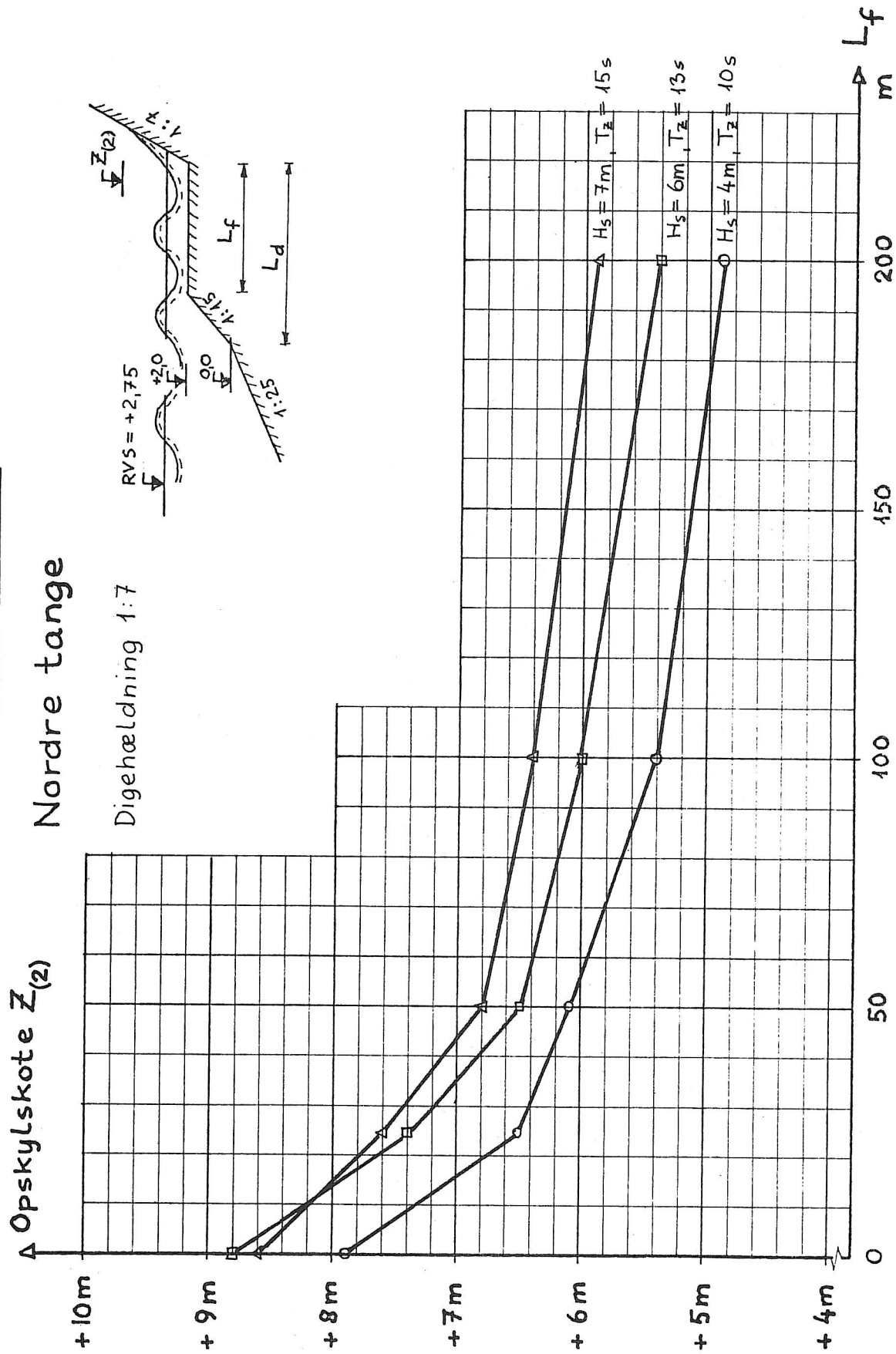


opskylskote  
i m.

# 2%'s opskylskoter

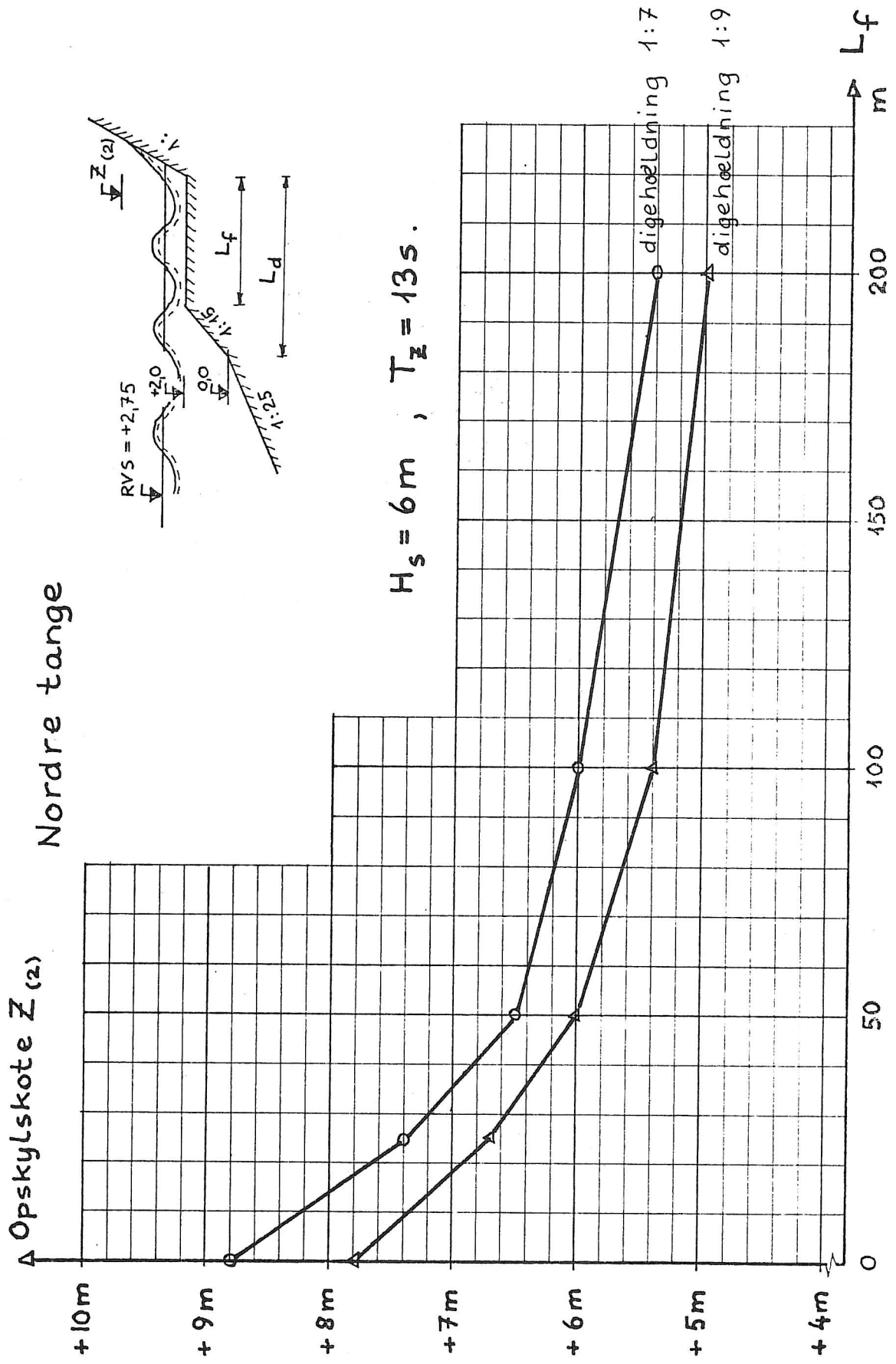
## Nordre tange

Digehældning 1:7



## 2%'s opskylskoter

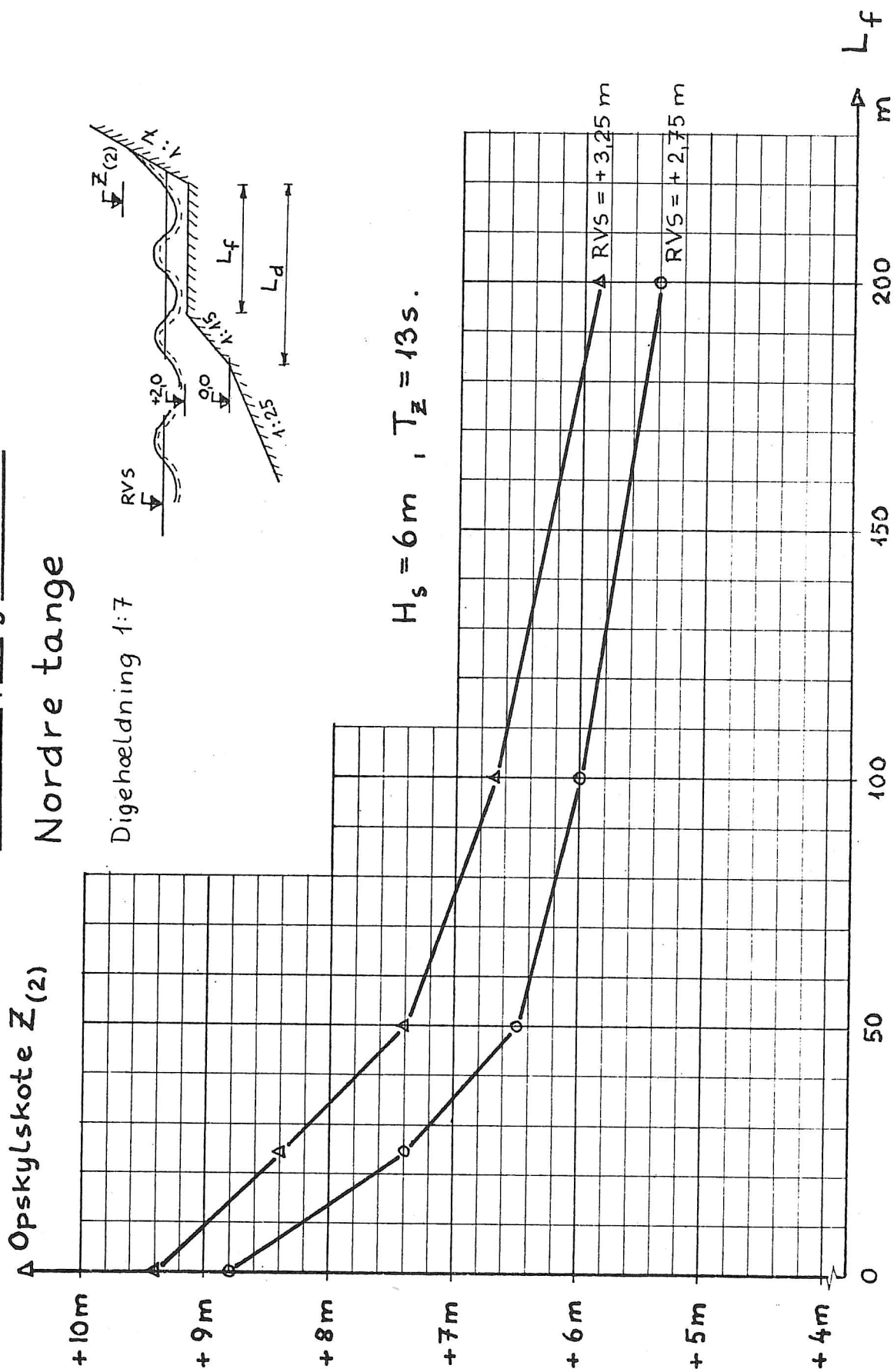
Nordre tange



# 2% 's opskylskoter

## Nordre tange

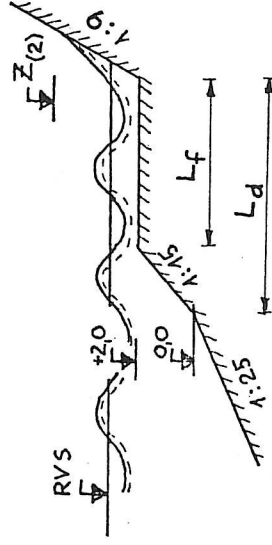
Digehældning 1:7



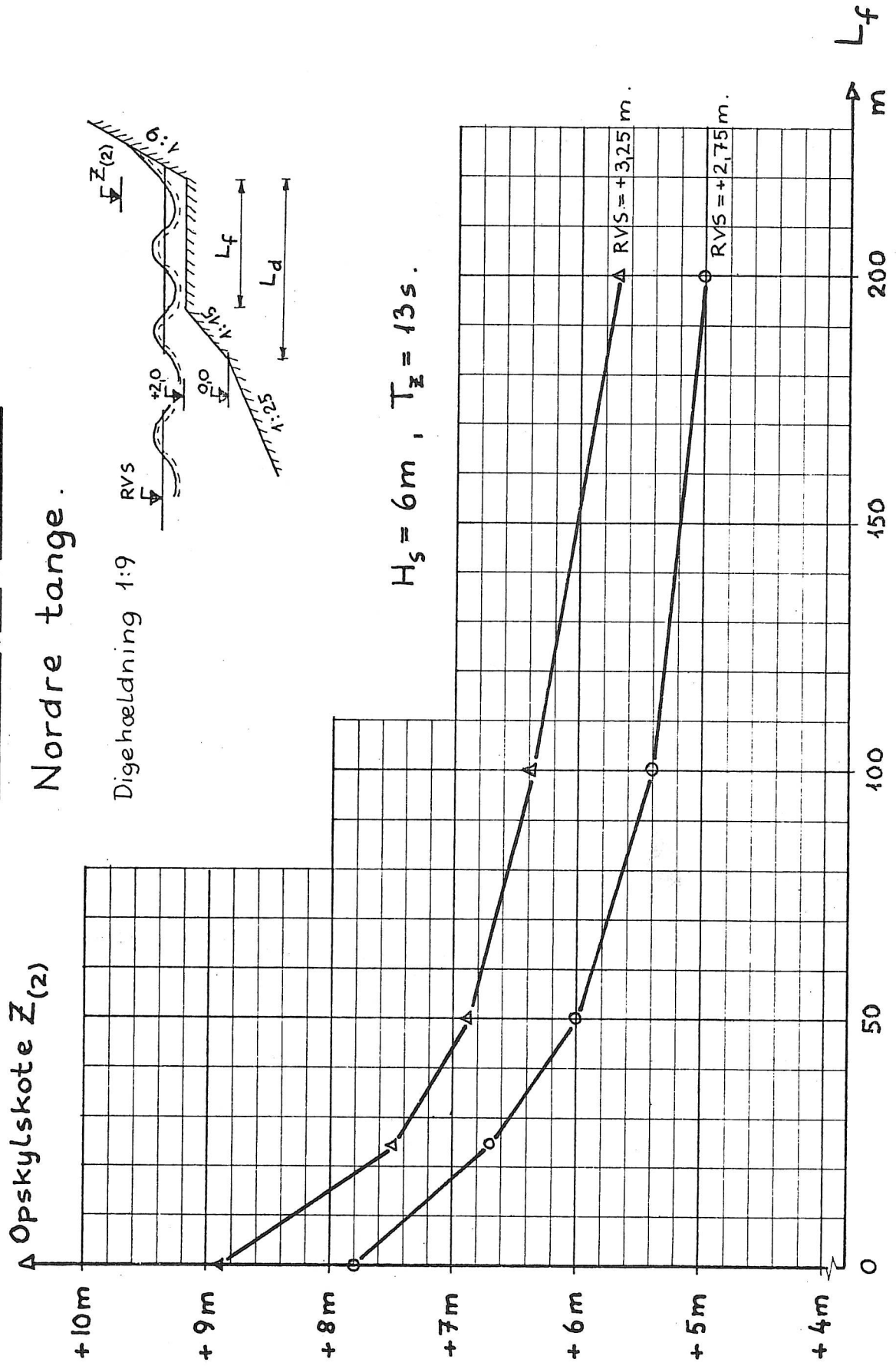
# 2% 's opskylskoter

Nordre tange.

Digehældning 1:9

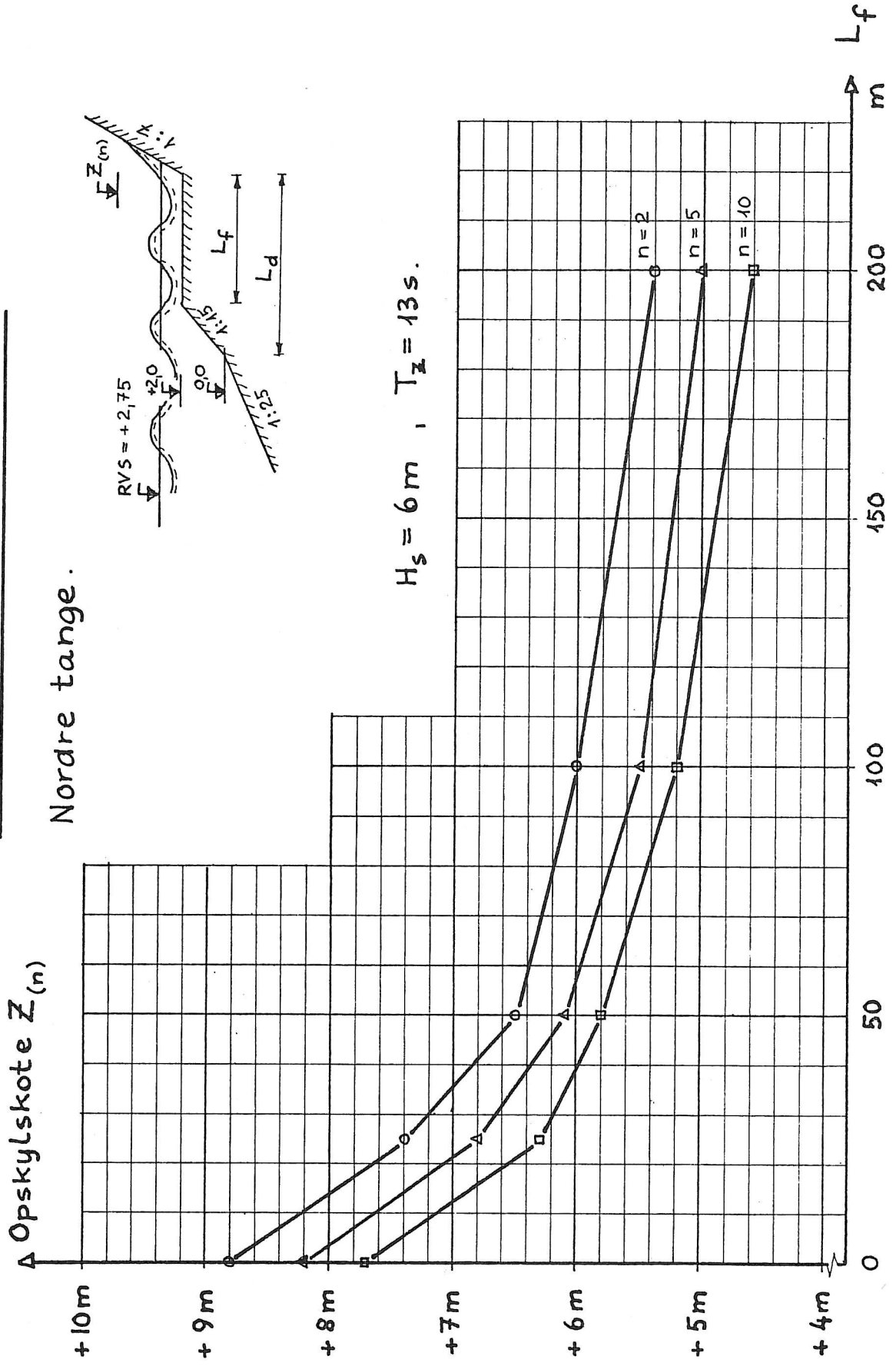


$$H_s = 6\text{ m} , T_z = 13\text{ s} .$$



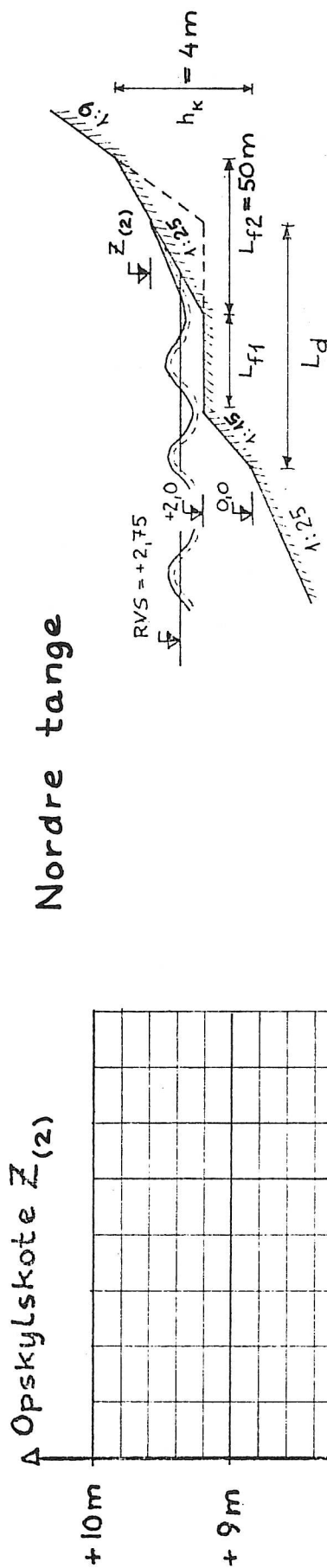
# 2, 5 og 10 %'s opskylskoter

Nordre tange.

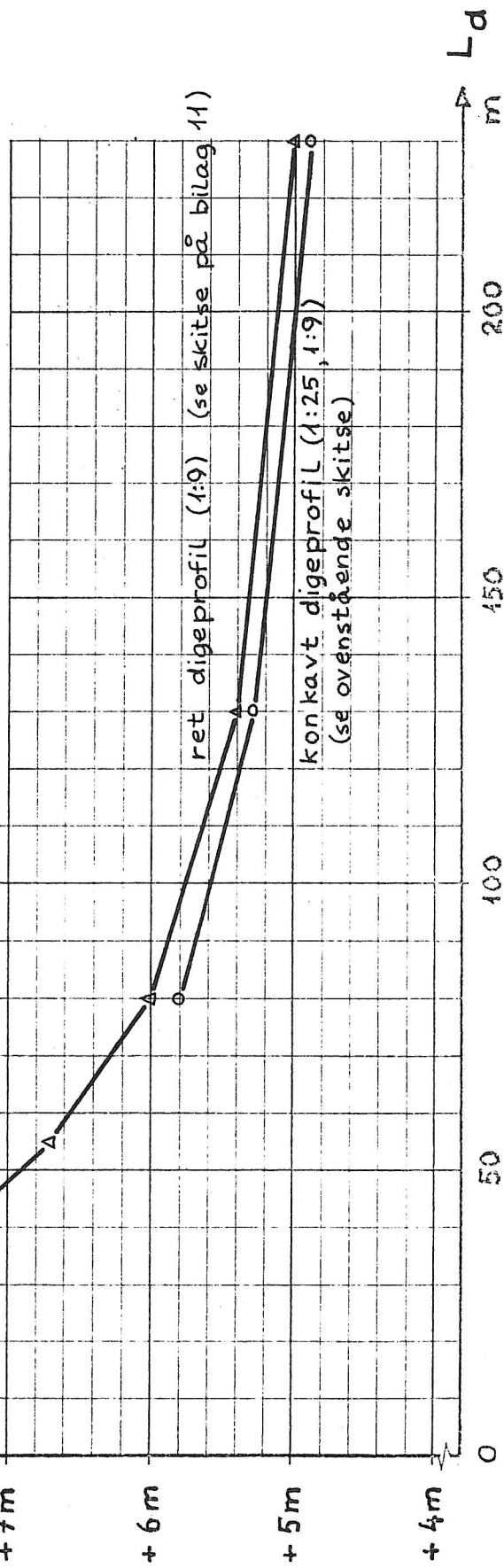


## 2%'s opskylskoter

### Nordre tange



$$H_s = 6\text{ m} , T_z = 13\text{ s} .$$

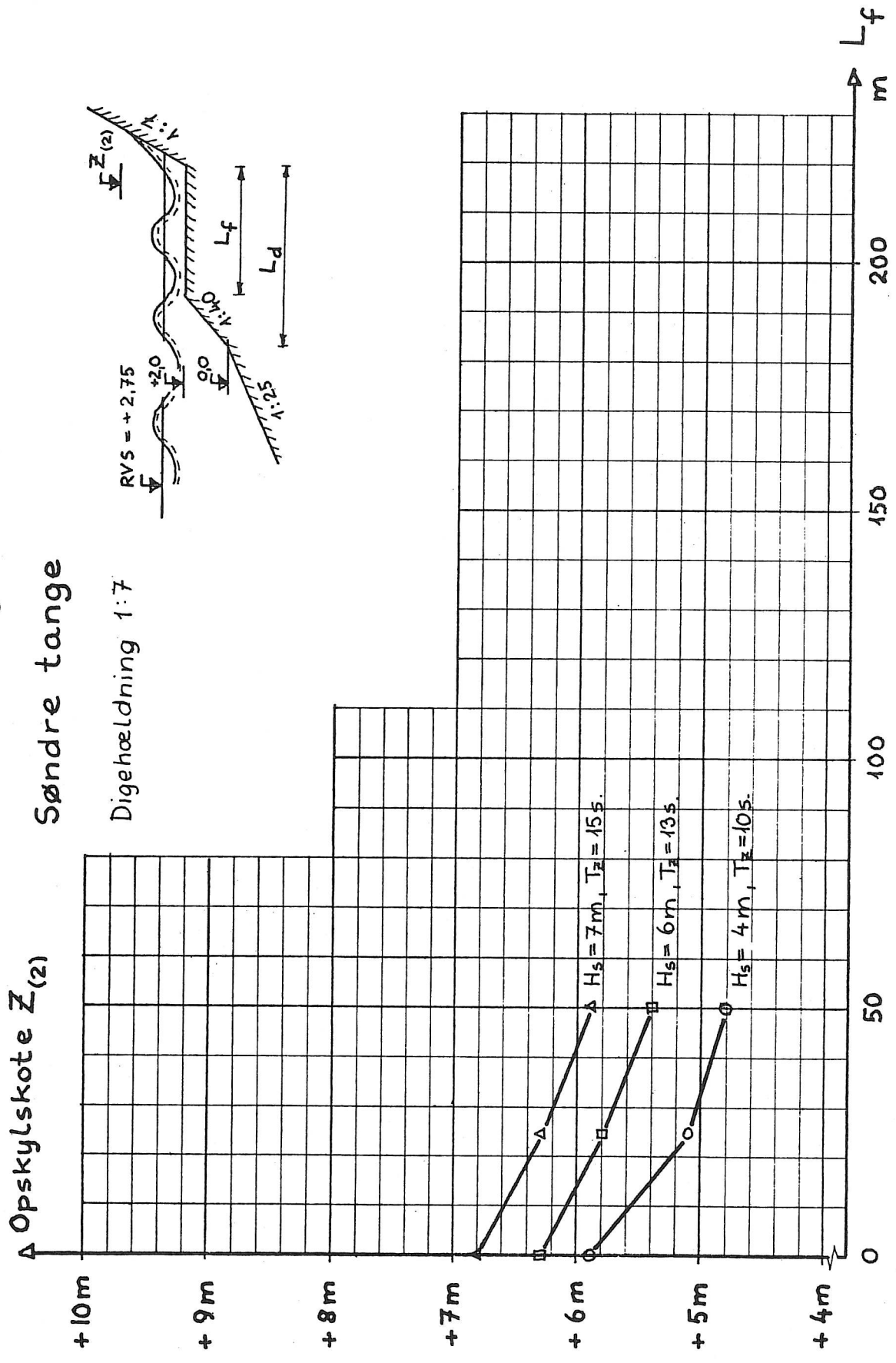




# 2%'s opskylskoter

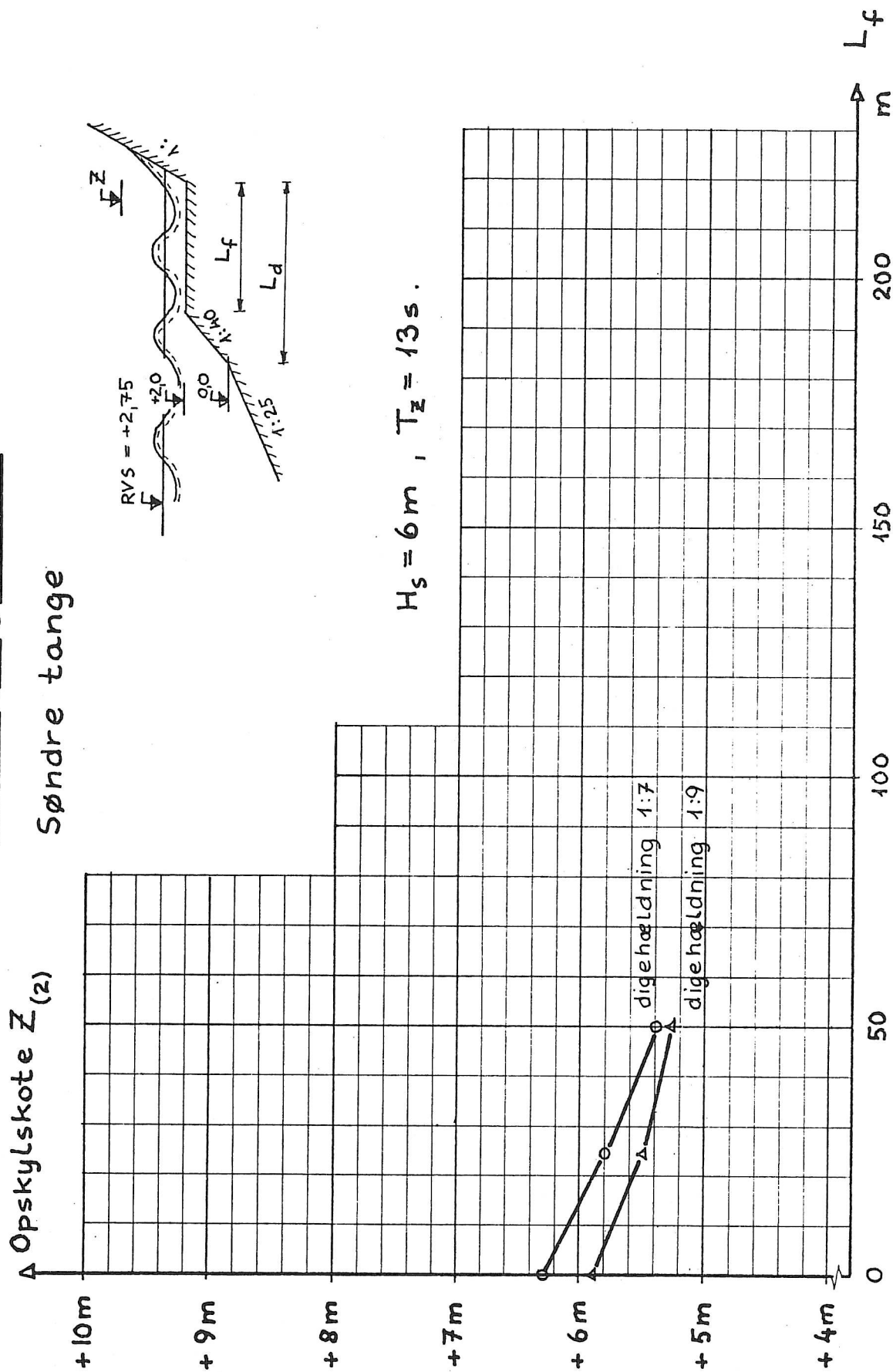
Søndre tange

Digehældning 1:7



# 2%'s opskylskoter

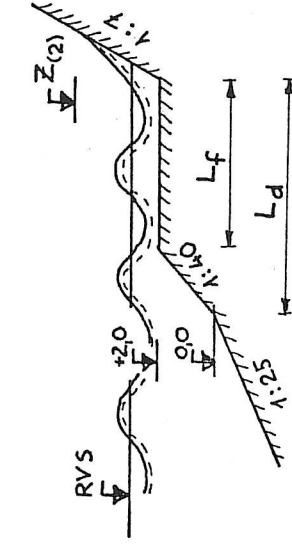
Søndre tange



## 2%'s opskylskoter

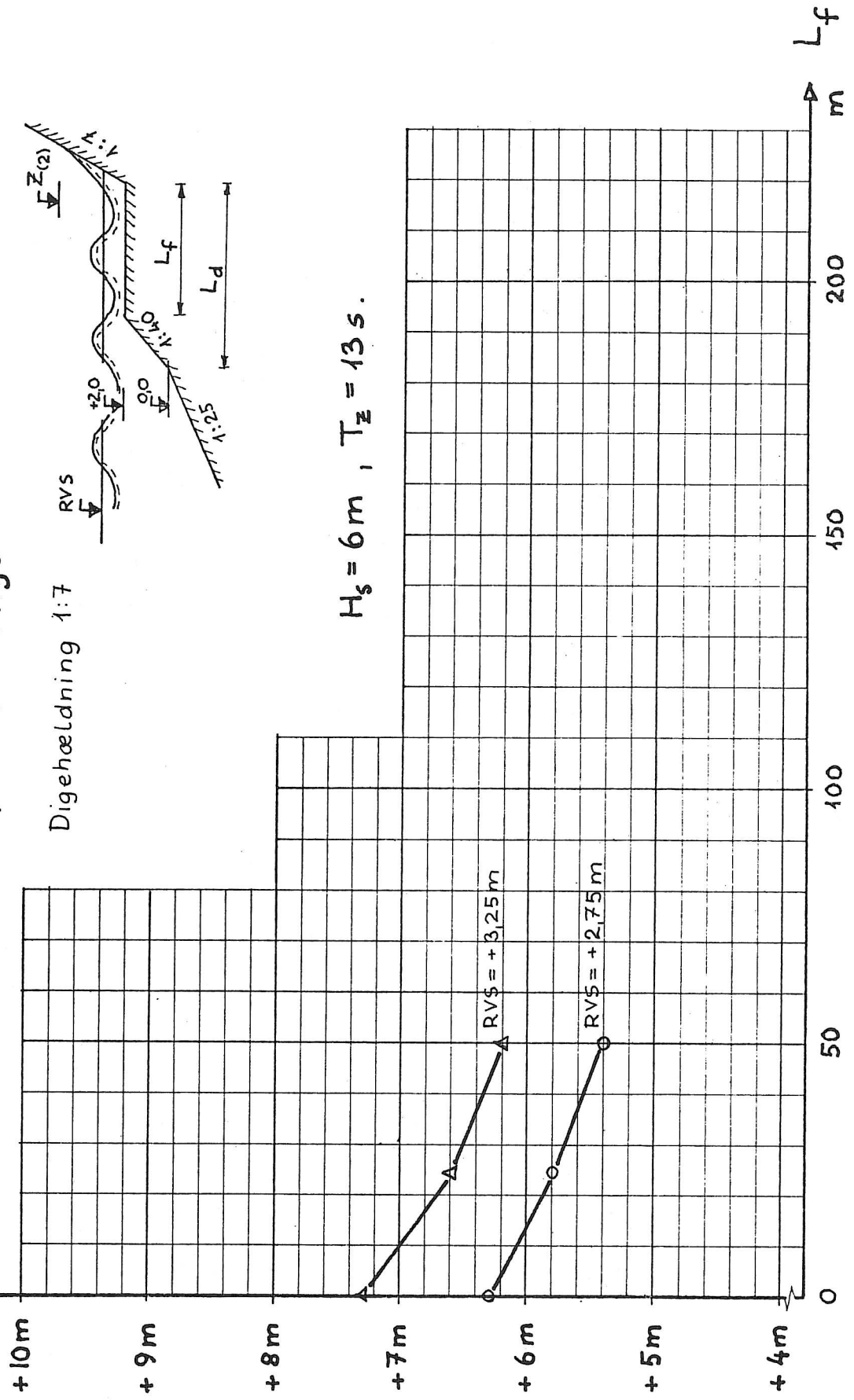
### Søndre tange

Δ Opskylskote  $Z_{(2)}$



Digehældning 1:7

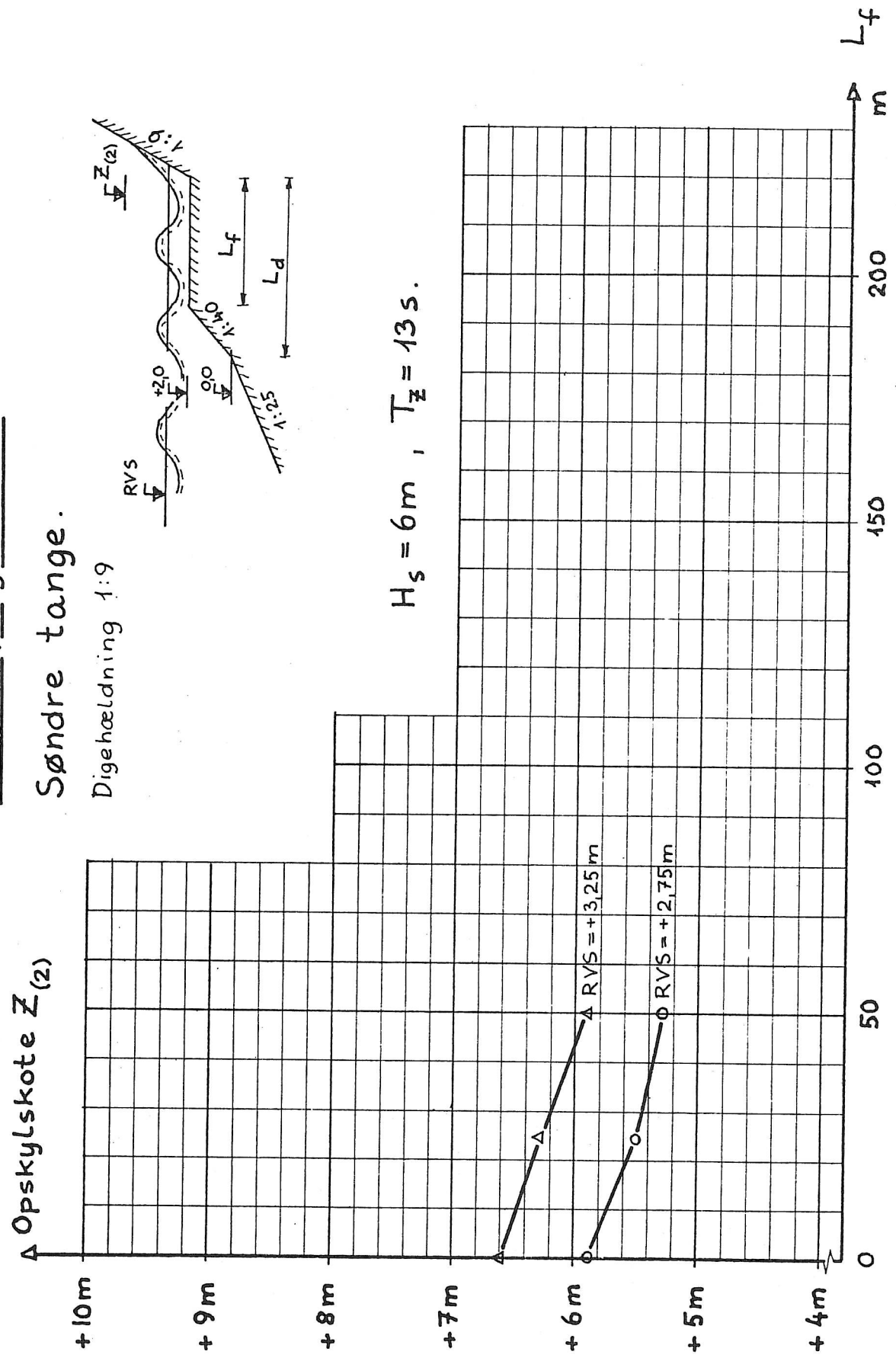
$$H_s = 6 \text{ m} , T_z = 13 \text{ s} .$$



# 2% 's opskylskoter

Søndre tange.

Digehældning 1:9

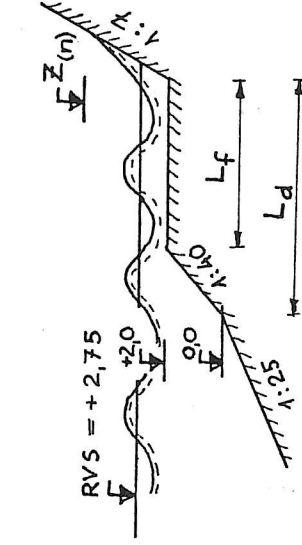


$$H_s = 6m, T_z = 13s.$$

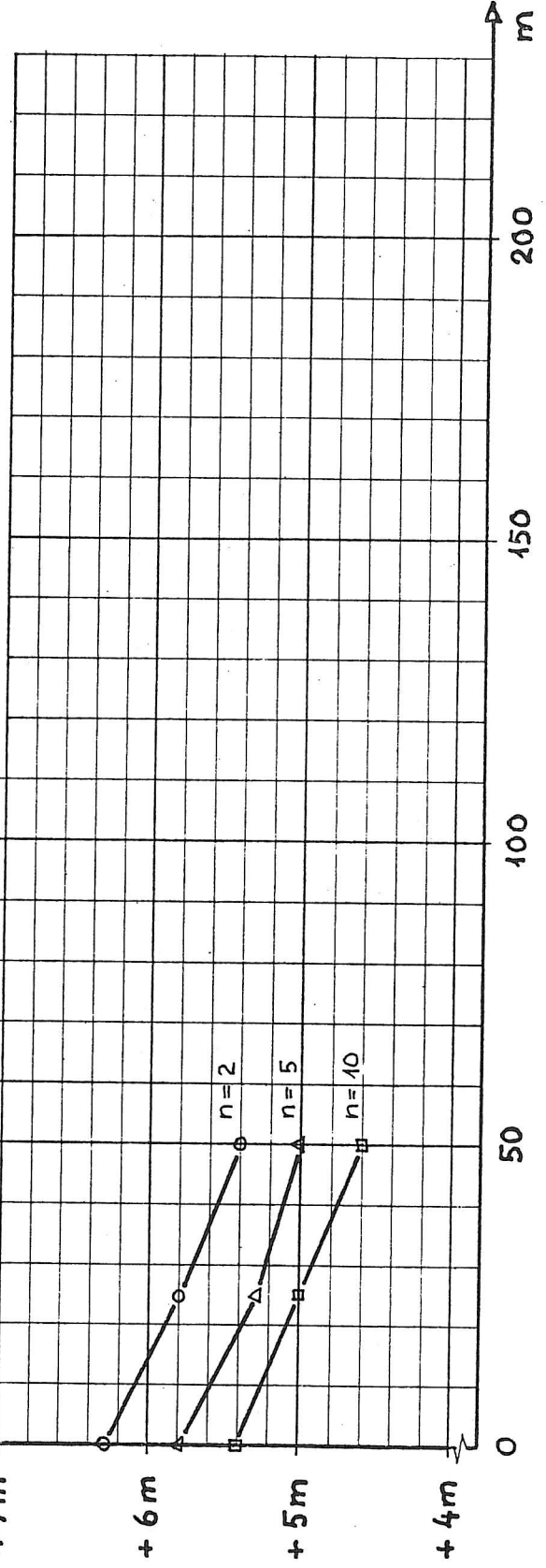
# 2, 5 og 10 %'s opskylskoter

Søndre tange.

$\Delta$  Opskylskote  $Z_{(n)}$

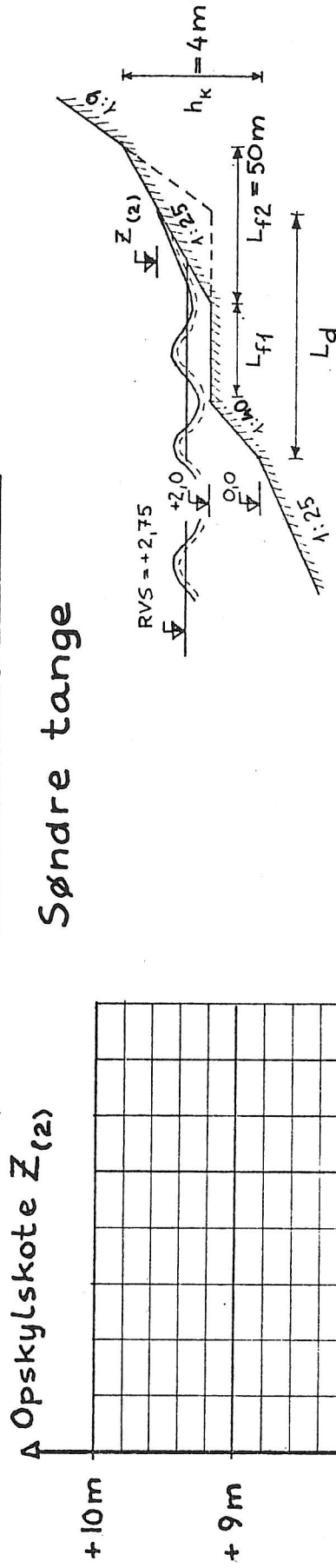


$$H_s = 6 \text{ m} , T_z = 13 \text{ s} .$$

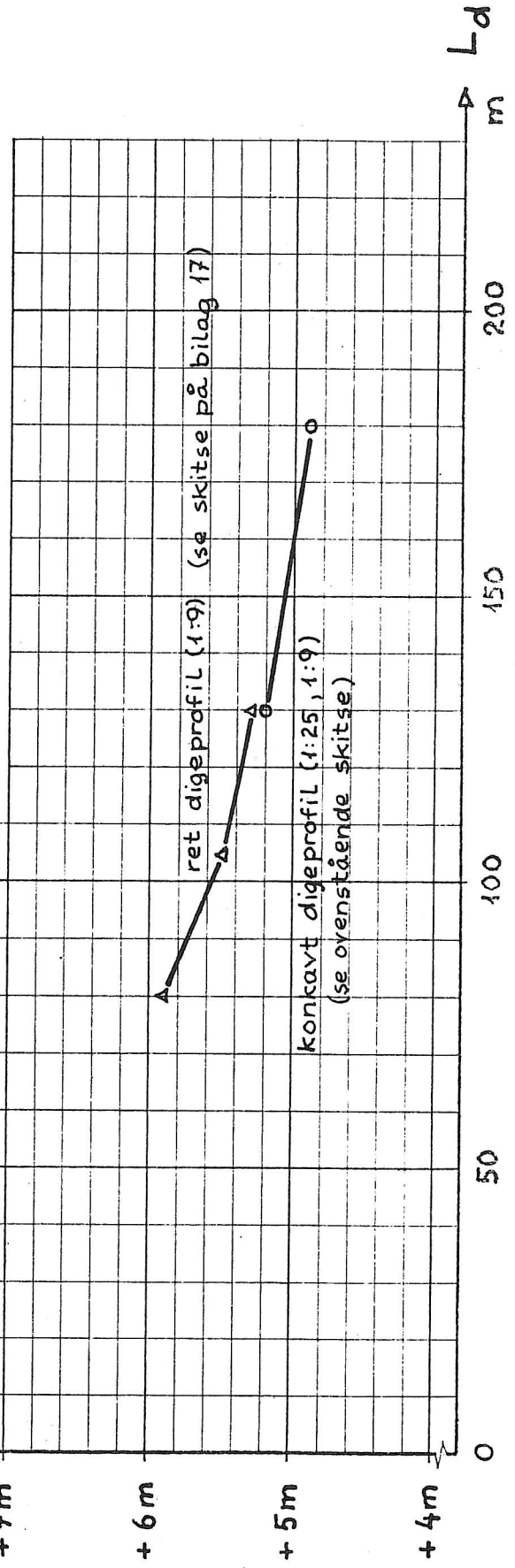


## 2%'s opskylskoter

### Søndre tange



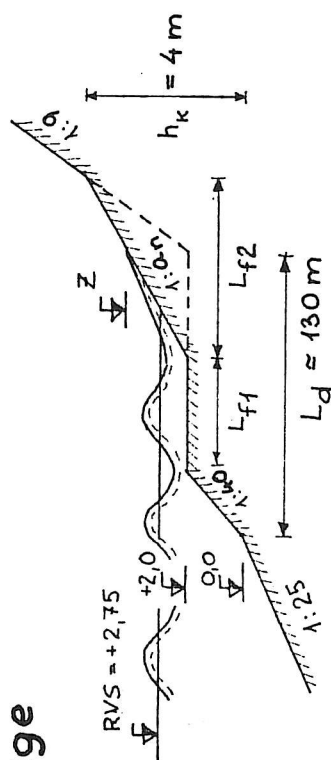
$$H_s = 6m, T_z = 13s.$$



# 2% 's opskylskoter

## Søndre tange

Opskylskote  $Z_{(2)}$



$$H_s = 6 \text{ m} , T_z = 13 \text{ s} .$$

ret digeprofil (1:7)

ret digeprofil (1:9)

hældning af  
nederste del  
af dige

$a_n$

40

30

20

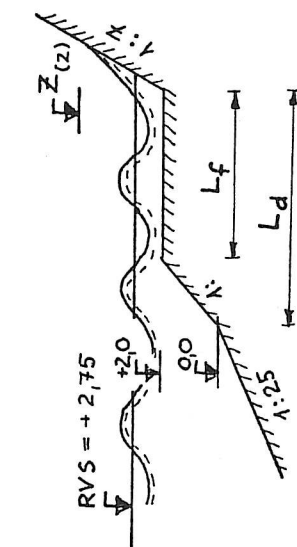
10

0

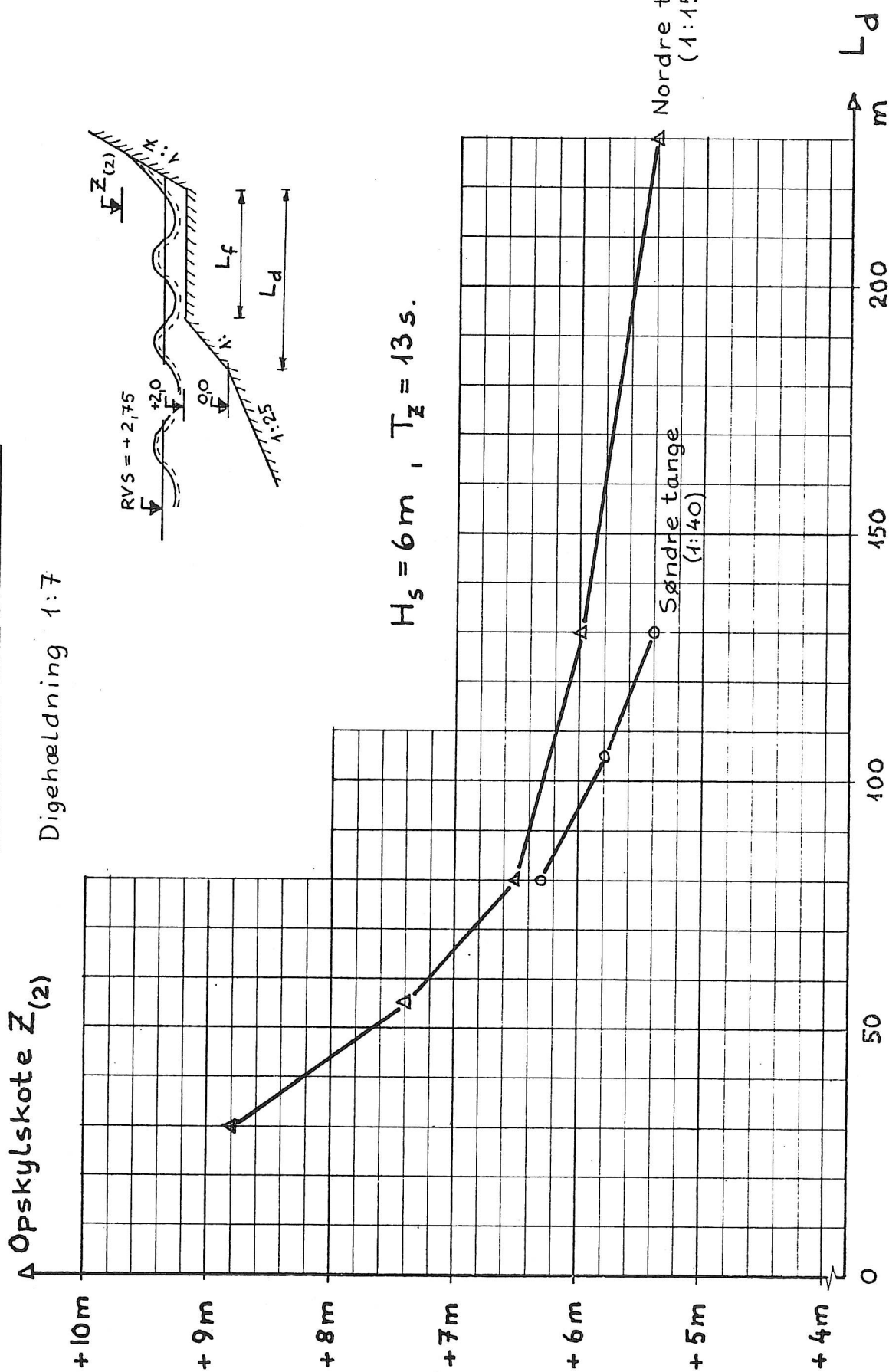
## 2%'s opskylskoter

Digehældning 1:7

Opskylskote  $Z_{(2)}$



$$H_s = 6 \text{ m} , T_z = 13 \text{ s.}$$

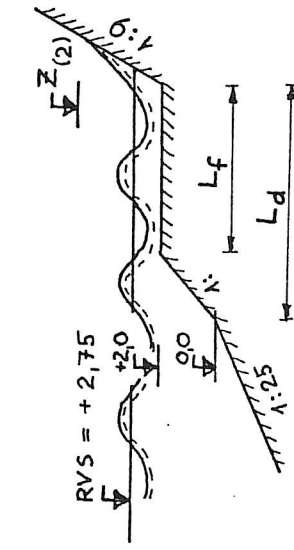




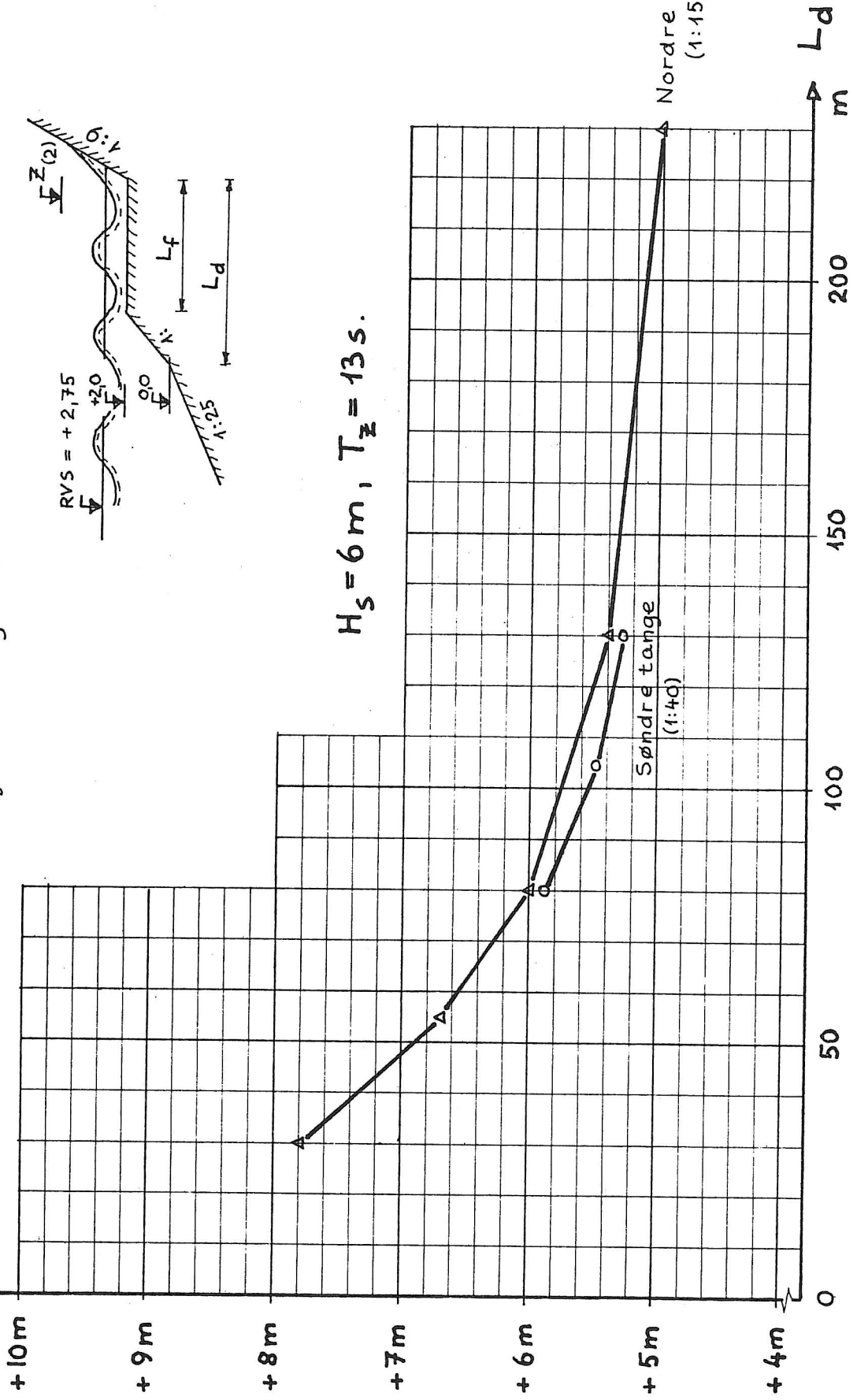
# 2%'s opskylskoter

Digehældning 1:9

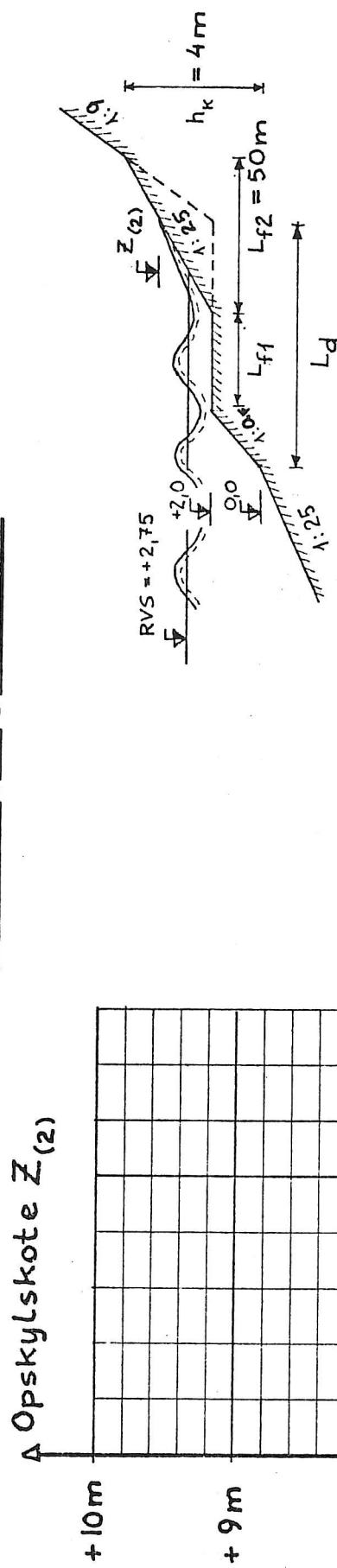
Δ Opskylskote  $Z_{(2)}$



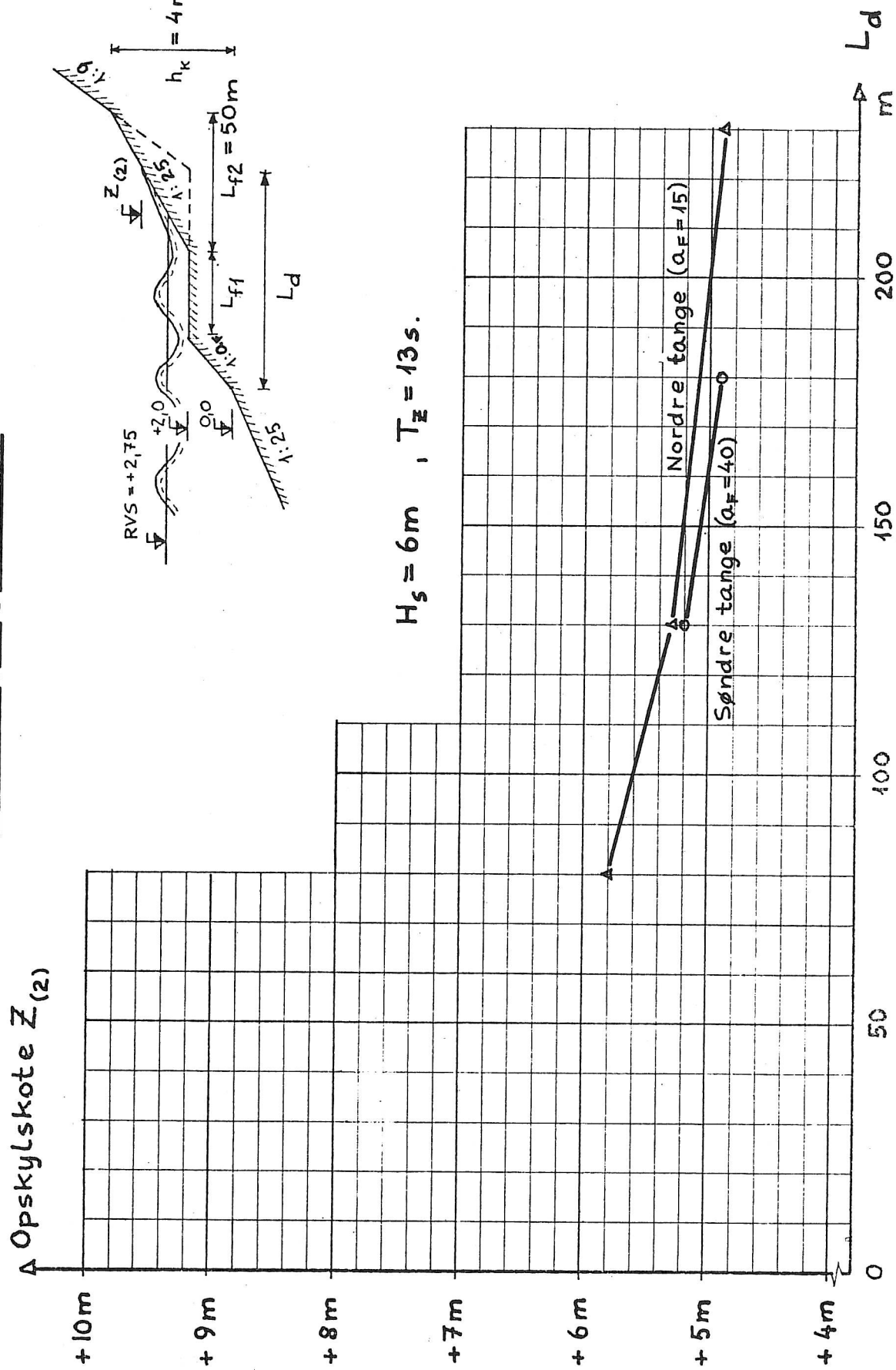
$$H_s = 6\text{ m}, T_z = 13\text{ s.}$$



## 2%'s opskylskoter



$$H_s = 6m, T_z = 13s.$$



Nordre tange

forstrandshældning 1:15

digehældning 1:7

RVS: +2,75 m

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 4 \text{ m}$	0	7,9	7,4	7,0
$T_Z = 10 \text{ sek}$	25	6,5	6,0	5,6
$\epsilon = 0,60$	50	6,1	5,5	5,1
	100	5,4	4,9	4,5
	200	4,9	4,4	4,1

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 6 \text{ m}$	0	8,8	8,2	7,7
$T_Z = 13 \text{ sek}$	25	7,4	6,8	6,3
$\epsilon = 0,67$	50	6,5	6,1	5,8
	100	6,0	5,5	5,2
	200	5,4	5,0	4,6

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 7 \text{ m}$	0	8,6	8,2	7,8
$T_Z = 15 \text{ sek}$	25	7,6	7,1	6,7
$\epsilon = 0,61$	50	6,8	6,3	5,9
	100	6,4	5,9	5,5
	200	5,9	5,3	4,9

Nordre tange

forstrandshældning 1:15

digehældning 1:7

RVS: +3,25 m

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 4 \text{ m}$	0	9,1	8,3	7,7
$T_Z = 10 \text{ sek}$	25	7,4	6,9	6,5
$\epsilon = 0,60$	50	6,7	6,1	5,7
	100	6,0	5,5	5,1
	200	5,5	5,1	4,8

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 6 \text{ m}$	0	9,4	8,9	8,7
$T_Z = 13 \text{ sek}$	25	8,4	7,7	7,1
$\epsilon = 0,67$	50	7,4	6,8	6,4
	100	6,7	6,2	5,8
	200	5,9	5,5	5,2

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 7 \text{ m}$	0	9,7	9,2	8,8
$T_Z = 15 \text{ sek}$	25	8,3	7,7	7,3
$\epsilon = 0,61$	50	7,6	7,1	6,7
	100	6,7	6,4	6,1
	200	6,2	5,9	5,6

Nordre tange

forstrandshældning 1:15

digehældning 1:9

RVS: +2,75 m

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 4 \text{ m}$	0	7,0	6,7	6,4
$T_Z = 10 \text{ sek}$	25	6,2	5,9	5,6
$\epsilon = 0,60$	50	5,8	5,5	5,2
	100	5,0	4,8	4,5
	200	4,6	4,4	4,2

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 6 \text{ m}$	0	7,8	7,3	6,8
$T_Z = 13 \text{ sek}$	25	6,7	6,2	5,8
$\epsilon = 0,67$	50	6,0	5,5	5,1
	100	5,4	5,0	4,7
	200	5,0	4,7	4,4

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 7 \text{ m}$	0	8,0	7,4	7,0
$T_Z = 15 \text{ sek}$	25	6,7	6,3	6,0
$\epsilon = 0,61$	50	6,3	5,8	5,5
	100	5,8	5,4	5,1
	200	5,3	5,0	4,7

Nordre tange

forstrandshældning 1:15

digehældning 1:9

RVS: +3,25 m

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 4 \text{ m}$	0	8,2	7,5	7,0
$T_Z = 10 \text{ sek}$	25	6,9	6,4	6,1
$\epsilon = 0,60$	50	6,3	5,9	5,5
	100	5,8	5,4	5,1
	200	5,2	4,8	4,5

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 6 \text{ m}$	0	8,9	8,2	7,7
$T_Z = 13 \text{ sek}$	25	7,5	7,0	6,7
$\epsilon = 0,67$	50	6,9	6,4	6,1
	100	6,4	5,9	5,6
	200	5,7	5,3	5,0

	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
$H_S = 7 \text{ m}$	0	8,8	8,3	8,0
$T_Z = 15 \text{ sek}$	25	7,8	7,4	7,1
$\epsilon = 0,61$	50	7,0	6,5	6,2
	100	6,6	6,1	5,8
	200	6,2	5,8	5,5

Søndre tange

forstrandshældning 1:40

digehældning 1:7

RVS: +2,75 m

$H_S = 4 \text{ m}$ $T_Z = 10 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,60$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	5,9	5,4	5,0
	25	5,1	4,7	4,4
	50	4,8	4,4	4,1

$H_S = 6 \text{ m}$ $T_Z = 13 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,67$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	6,3	5,8	5,4
	25	5,8	5,3	5,0
	50	5,4	5,0	4,6

$H_S = 7 \text{ m}$ $T_Z = 15 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,61$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	6,8	6,2	5,8
	25	6,3	5,8	5,4
	50	5,9	5,4	5,0

Søndre tange

forstrandshældning 1:40

digehældning 1:7

RVS: +3,25

$H_S = 4 \text{ m}$ $T_Z = 10 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,60$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	6,8	6,3	5,9
	25	6,3	5,8	5,4
	50	5,8	5,3	4,9

$H_S = 6 \text{ m}$ $T_Z = 13 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,67$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	7,3	6,7	6,2
	25	6,6	6,1	5,8
	50	6,2	5,8	5,5

$H_S = 7 \text{ m}$ $T_Z = 15 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,61$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	7,5	7,0	6,6
	25	7,0	6,5	6,1
	50	6,7	6,2	5,8



Søndre tange

forstrandshældning 1:40

digehældning 1:9

RVS: +2,75 m

$H_S = 4 \text{ m}$ $T_Z = 10 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,60$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	5,2	4,8	4,5
	25	5,0	4,5	4,1
	50	4,9	4,4	4,0

$H_S = 6 \text{ m}$ $T_Z = 13 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,67$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	5,9	5,5	5,1
	25	5,5	5,1	4,8
	50	5,3	4,9	4,6

$H_S = 7 \text{ m}$ $T_Z = 15 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,61$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	5,9	5,5	5,2
	25	5,7	5,3	5,0
	50	5,4	5,0	4,7

Søndre tange

forstrandshældning 1:40

digehældning 1:9

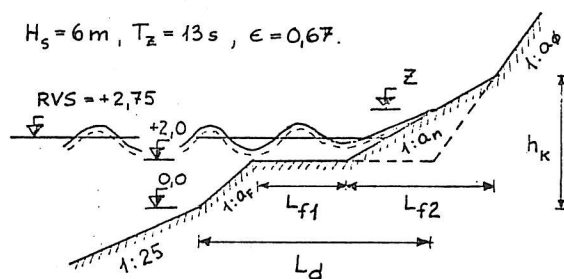
RVS: +3,75 m

$H_S = 4 \text{ m}$ $T_Z = 10 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,60$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	6,3	5,8	5,5
	25	5,9	5,4	5,1
	50	5,6	5,2	4,8

$H_S = 6 \text{ m}$ $T_Z = 13 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,67$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	6,6	6,1	5,8
	25	6,3	5,8	5,5
	50	5,9	5,5	5,1

$H_S = 7 \text{ m}$ $T_Z = 15 \text{ sek}$ $\epsilon = 0,61$	Længde af vandret forstrand (m)	Opskylskote (m)		
		2%	5%	10%
	0	7,0	6,5	6,2
	25	6,8	6,3	5,9
	50	6,5	6,0	5,6

# Resultatoversigt over forsøg med konkavt digeprofil



Forsøgsnr.	$L_d$ m	$L_{f1}$ m	$L_{f2}$ m	$h_K$ m	$a_F$	$a_n$	$a_\phi$	$z(2)$ m	$z(5)$ m	$z(10)$ m
1	130	38	30	4	40	15	9	5,2	4,8	4,5
2	130	34	25	3	40	25	9	5,3	5,0	4,7
3a	130	18	50	4	40	25	9	5,2	4,9	4,6
3b	180	68	50	4	40	25	9	4,9	4,6	4,3
4	130	2	75	5	40	25	9	5,1	4,8	4,5
5	142	0	80	4	40	40	9	5,1	4,6	4,3
6	130	14	50	4	40	25	7	5,5	5,0	4,7
7a	80	18	50	4	15	25	9	5,8	5,3	4,9
7b	130	68	50	4	15	25	9	5,3	4,7	4,3
7c	230	168	50	4	15	25	9	4,9	4,4	4,0
8	100	18	50	4	25	25	9	-	-	-
9	130	30	50	4	40	25	15	5,0	4,6	4,3
10	130	50	0	2	40	9	9	5,4	5,0	4,7
11	130	50	0	2	40	7	7	5,6	5,1	4,8
12	80	50	0	2	15	9	9	6,0	5,5	5,1

Forsøg nr. 8 blev ikke udført, da bilag 22 og bilag 23 viser, at forskellen i opskylskoten er mindre end 0,2 m, når forstrandshældningen ændres og  $a_{dige} = 9$ .